Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INIA

CORFO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

FACTORES DE PRECOSECHA QUE AFECTAN LA POSTCOSECHA DE PALTA HASS

CLIMA, SUELO Y MANEJO

Editores:
Raúl Ferreyra E.
Bruno Defilippi B.

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA - Nº 248

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

FACTORES DE PRECOSECHA QUE AFECTAN LA POSTCOSECHA DE PALTA HASS

CLIMA, SUELO Y MANEJO

Editores:
Raúl Ferreyra E.
Bruno Defilippi B.

La Cruz, Chile, 2012

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA - Nº 248

Autores:
Raúl Ferreyra, *Ingeniero Agrónomo M.Sc., INIA La Cruz y Centro Regional de Estudios en Alimentos Saludables CREAS.*
Bruno Defilippi, *Ingeniero Agrónomo Ph.D., INIA La Platina.*
Jorge Saavedra, *Ingeniero en Alimentos Dr., Universidad Católica de Valparaíso y Centro Regional de Estudios en Alimentos Saludables CREAS.*
Gabriel Sellés, *Ingeniero Agrónomo Dr., INIA La Platina.*
Paula Robledo, *Ingeniero Agrónomo., INIA La Platina.*
Mary Lu Arpaia, *Ph.D. Universidad de California Riverside, USA.*
Daniela Karlezi, *Ingeniero Agrónomo.*
Jonathan Crane, *Ph.D. Universidad de Florida USA.*
Bruce Schaffer, *Ph.D. Universidad de Florida USA.*
John P. Bower, *Ph.D., Especialista en Postcosecha.*
Pilar Gil, *Ingeniero Agrónomo Dr., Universidad Viña del Mar.*
Claudia Troncoso, *Ingeniero de Ejecución en Agronomía, INIA La Cruz.*

Director responsable:
Fernando Rodríguez A.
Director Regional INIA La Cruz.

Boletín INIA Nº 248

Cita bibliográfica correcta:
Ferreyra E., Raúl y Defilippi B., Bruno (eds.). 2012. Factores de precosecha que afectan la postcosecha de palta Hass: Clima , suelo y manejo. 100 p. Boletín INIA Nº 248. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Cruz, La Cruz, Chile.

© 2012. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.
Centro Regional de Investigación La Cruz. Chorrillos 86.
Comuna La Cruz. Teléfono fax (56-33) 321780. Casilla 3, La Cruz.
Región de Valparaiso, Chile.

ISSN 0717 – 4829.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización expresa de los autores.

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico.
Impresión: Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 500

La Cruz, Chile, 2012.

Índice

Capítulo 1.
Introducción _____ 7

Capítulo 2.
Factores que afectan la postcosecha
de la palta _____ 11
2.1 Factores que afectan la
heterogeneidad de la fruta _____ 14
2.1.1 Ubicación y orientación
del fruto _____ 14
2.1.2 Portainjerto/variedad _____ 14
2.1.3 Nutrición Mineral _____ 15
2.1.3.1 Calcio _____ 15
2.1.3.1.1 Calcio y pardeamiento
de pulpa _____ 17
2.1.3.1.2 Calcio y pardeamiento
vascular _____ 18
2.1.3.2 Nitrógeno _____ 18
2.1.3.3 Boro _____ 19
2.1.3.4 Estrés hídrico _____ 19
2.1.3.5 Poda y reguladores de
crecimiento _____ 20

Capítulo 3.
Efecto de la nutrición y relaciones hídricas en
la calidad de la postcosecha de la palta _____ 21
3.1 Nutrición Mineral _____ 22
3.1.1 Calcio _____ 22
3.1.2 Nitrógeno _____ 26
3.2 Riego _____ 28

Capítulo 4.
Caracterización de los huertos cultivados con palto en Chile ____ 31
4.1 Suelo ____ 31
4.2 Clima ____ 36
4.3 Estado nutricional de los huertos ____ 39

Capítulo 5.
Heterogeneidad en postcosecha de los huertos de palta Hass en Chile ____ 43
5.1 Firmeza de pulpa ____ 47
5.2 Color de epidermis ____ 48
5.3 Pardeamiento de pulpa ____ 49
5.4 Tiempo a madurez de consumo ____ 50
5.5 Materia seca ____ 50
5.6. ¿Podemos predecir esta heterogeneidad en postcosecha? ____ 52
5.7 ¿Cuanto es la influencia de cada una de estas variables? ¿Como podemos integrarlas en una medición? ____ 53
5.8 Conclusiones ____ 53

Capítulo 6.
Predictores del comportamiento en postcosecha de la palta, proveniente de diferentes condiciones de clima, suelo y manejo ____ 55
6.1. Relación entre los diferentes indicadores de vida útil de la fruta ____ 57
6.2. Factores de precosecha que afectan la calidad de postcosecha de la palta ____ 59
6.3. Valores límites de los factores de precosecha que afectan la calidad y condición de postcosecha de la palta ____ 67
6.4. Modelo para predecir la calidad y condición de postcosecha de la palta ____ 72
6.5. Áreas con mejores condiciones climáticas para producir fruta de mejor vida postcosecha ____ 74

Capítulo 7.
Manejo de los huertos para obtención
de fruta de calidad _____ 75

Capítulo 8.
Determinación del contenido de materia seca
en palta Hass utilizando espectro
infrarrojo cercano (NIR) _____ 77
8.1 Introducción _____ 77
8.2 Materiales y métodos _____ 79
8.3 Método NIR _____ 79
8.4 Métodos de pre-tratamiento _____ 80
8.4.1 Calibración PLS y MLR _____ 82
8.5 Resultados _____ 83
8.6 Conclusión _____ 88

Bibliografía _____ 89

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los rendimientos promedios de los huertos de palto o aguacate (*Persea americana* Mill.) son bajos en comparación con otras frutas de pulpa. Esto se debe principalmente a que para producir frutos de semilla grande y ricos en aceite se requiere de un alto costo en fotosintatos (Wolsten-holme, 1986). En Chile hay huertos que mantienen producciones estables de alrededor de 25 T ha^{-1}, sin embargo, el rendimiento promedio en huertos adultos es de aproximadamente 9 T ha^{-1} (Ferreyra *et al.*, 2005).

Las plantaciones de palto en Chile se encuentran principalmente en dos grupos de tipos de suelos, el primero de ellos son los alfisoles de origen aluvial, los que presentan una textura franca, son alcalinos y pobres en materia orgánica. El segundo grupo está representado por suelos de cerros de origen granítico y/o basáltico, de textura franco arcillosa, desuniformes y pobres en materia orgánica. Claramente estos dos tipos de suelos presentan características físicas y químicas distintas a los andisoles de donde es originario el palto (Anguiano-Contreras *et al.*, 2003).

La calidad de la palta en postcosecha está muy relacionada con las condiciones climáticas y de manejo de los huertos en precosecha. El consumidor

percibe la calidad en términos de apariencia, sabor y precio. Por otro lado, el recibidor en el mercado de destino puede percibir la calidad en términos de uniformidad de color, firmeza, ausencia de desórdenes fisiológicos y de duración de la fruta en mostrador. En cambio, el productor puede percibir la calidad como la ausencia total de defectos o bién una óptima distribución de calibres. Tradicionalmente se ha puesto poca atención a la optimización de la calidad de la fruta, tanto durante la cosecha como a lo largo de su manipulación hasta llegar al consumidor (Arpaia, 2004).

Los temas más estudiados de postcosecha, mencionan la relación con la vida útil de un producto homogéneo. Son escasos los trabajos que permiten relacionar los efectos de factores de precosecha sobre la postcosecha. El aspecto más trabajado se refiere a la relación del nivel del calcio en el fruto y sus efectos en postcosecha (Hofman *et al*., 2002). En Chile, los huertos de palto se han plantado en una amplia gama de condiciones de suelo y clima (Ferreyra y Sellés, 2007), lo que junto a diferencias en el manejo del cultivo (riego y fertilización) como la manipulación de la fruta al momento de cosecha, son responsables en gran medida de la alta variabilidad que presenta la fruta en postcosecha. Por lo anterior, INIA con financiamiento de INNOVA - CORFO ejecutó un proyecto que tenía como objetivo conocer el efecto de diferentes indicadores de precosecha sobre la vida de la fruta en postcosecha, de manera de disponer de un procedimiento e indicadores que permitieran estimar el comportamiento de la fruta en postcosecha, según las características del huertos donde fue producida.

Para ejecutar el trabajo fueron seleccionados 45 sitios plantados en diferentes condiciones de clima, topográficas y suelo, de manera de poder relacionar condiciones de precosecha con la vida postcosecha de la fruta, a través de experimentos que simulan los envíos de fruta a mercados distantes.

La ubicación y selección de los sitios se llevo a cabo a través de sistemas de información geográficos (SIG), en diferentes condiciones de clima, suelo, exposición y altitud. Además se utilizo para pre seleccionar los sitios experimentales los niveles foliares de Fe, Ca, Zn, B, N, K, vigor del árbol, edad, estrés hídrico, entre otros.

FACTORES QUE AFECTAN LA POSTCOSECHA DE LA PALTA

Raul Ferreyra,
Ing. Agrónomo M.Sc.
Bruno Defilippi,
Ing. Agrónomo Ph.D.
Gabriel Sellés,
Ing. Agrónomo Dr.
Mary Lu Arpaia,
Ph.D., USA.

Hass es la principal variedad comercial de palta en el mundo, registrada en 1935 y originada en La Habra Heights, California, por Rudolph G. Hass a partir de una semilla establecida a principios de los años 20 (Téliz, 2000).

La estructura del árbol es de tamaño mediano a grande con un crecimiento erecto y copa redondeada. Su fruto es ovalado con peso entre 140 a 400 g aunque en varios países tiende a ser de menor peso, la pulpa se caracteriza por ser cremosa, de sabor excelente y generalmente sin fibra y sobre todo con un alto contenido de aceite. La cáscara es algo coriácea, rugosa, de color púrpura oscuro al madurar, la semilla es pequeña y adherida a la cavidad. El árbol es excelente productor y su fruta se puede mantener en el árbol por algunos meses después de madurez fisiológica, sin embargo la pulpa tiende a volverse harinosa cuando se cosecha muy tarde (Téliz 2000 y Newett *et al*. 2007).

El momento adecuado de la cosecha es aquel donde el fruto posee valores mínimos de aceite adecuados para una correcta maduración y proporcionando las mejores características organolépticas (Cajuste *et al*. 1994). A partir de la década de los ochenta, en California, Estados Unidos, se comenzó a utilizar porcentajes mínimos de aceite, diferentes para cada variedad, correspondiendo 10% para cv. Fuerte y 11,2% para cv. Hass (Arpaia 1990).

Por las características propias de la fruta, incluyendo una alta tasa respiratoria, alta producción de etileno y susceptibilidad a bajas temperaturas, las paltas presentan una vida media en postcosecha de 25 a 55 días. La temperatura es el factor más importante a tomar en cuenta para el almacenamiento de palta, debido a sus efectos sobre los diferentes procesos biológicos que ocurren en la fruta. El principal efecto de someter a bajas temperatura la fruta es reducir el deterioro natural de la misma pero sin causar daño por frío (Paz, 1987). Esta baja temperatura favorece la prolongación de la vida de frutos disminuyendo la velocidad con que se llevan a cabo los procesos que conducen a la maduración y senescencia.

El proceso de ablandamiento de la palta, durante la maduración, es lo más característico que experimenta la fruta. Esto va asociado a cambios en los azúcares y pectatos de calcio que conforman la lamela media, hemicelulosa y celulosa. Las enzimas relacionadas con este proceso son las poligalacturonasas y celulasa (Berger, 1996).

La mayoría de las especies tropicales y subtropicales son sensibles a sufrir deterioro en su condición cuando son almacenadas a temperaturas entre 0 y 12ºC, daño conocido internacionalmente como daño por frío o *"chilling injury"* (**Foto 1**).

Foto 1. Daño por frio.

Existe un fino balance entre fruta firme y daño externo por frío, ya que las temperaturas de transporte podrían resultar en fruta blanda a la llegada a destino, mientras que temperaturas muy bajas terminan en fruta con daño por frío.

Los desórdenes fisiológicos corresponden a manifestaciones en el aspecto del mesocarpo, haces vasculares y exocarpo, causados por el almacenaje en frío durante períodos prolongados de tiempo. La magnitud del daño estará en relación con la calidad de la fruta que llegó al almacenaje y las condiciones de almacenaje (Ginsburg, 1985). Los síntomas de frío son claramente evidentes, solamente, cuando la fruta ha alcanzado madurez de consumo, y esto, generalmente, es tarde para efectos de comercialización (Corrales y Tlapa, 1999). Paltas cosechadas a principio de la temporada, con menos del 14% de aceite, son más susceptibles al frío; en cambio fruta con un índice de madurez del 14 al 16% de aceite tiende a tener menos daño (Téliz, 2000).

La deshidratación es uno de los factores más importantes que lideran el deterioro, por lo que la mantención de una alta humedad relativa durante almacenamiento y transporte es utilizado para disminuir la pérdida de humedad. Por lo tanto, similar a otras frutas, el almacenamiento de palta debe considerar almacenajes con humedades de cámara no inferiores al 90% para evitar que la deshidratación de la fruta supere un 5-10%, nivel que no comprometería su valor comercial a pesar de la pérdida de volumen (Berger 1996).

Uno de los problemas que enfrenta la palta chilena en los mercados de destino es la heterogeneidad del producto, principalmente en desarrollo de color externo y tiempo de ablandamiento para alcanzar madurez de consumo. Esta situación, a pesar de ser observada al momento de la recepción, en términos de color y firmeza de pulpa, tiene un gran efecto al llegar al recibidor porque el producto no presenta madurez uniforme. Por lo tanto, a menudo existe un costo asociado al momento de recepcionar la palta en el mercado de destino, en el cual si la desuniformidad es alta, el recibidor debe volver a seleccionar y embalar. Por otro lado, existe el riesgo de llegar con fruta muy desuniforme a nivel de consumidor, sin cumplir las expectativas por este producto.

2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA HETEROGENEIDAD DE LA FRUTA

Las causas de esta heterogeneidad van desde diferencias en el contenido de aceite, o edad fisiológica de las paltas, hasta efecto de los factores de precosecha. Durante las labores de embalaje de la palta, solamente es posible realizar una segregación automatizada de la fruta basada en aspectos externos, como color y tamaño (calibre). No obstante, hasta la fecha no existe para palta un instrumento índice o metodología de precosecha o postcosecha que permita segregar en forma eficiente lotes de acuerdo a la capacidad de almacenamiento.

2.1.1 Ubicación y orientación del fruto.

Según Muñoz (2004), la ubicación de los frutos respecto a la altura en el árbol influye en el grado de madurez, no existiendo diferencias en la ubicación geográfica, tanto para cv. Hass como para cv. Fuerte. Esta diferencia de madurez causada por la ubicación de los frutos respecto a la altura, se debe a la mayor cantidad de horas de radiación que recibe diariamente la zona superior del árbol, en comparación a las zonas bajas.

Hofman y Jobin-Décor citados por Arpaia (2004), afirman que la orientación del lado desde donde se cosecha la fruta no tiene incidencia sobre el contenido de materia seca en paltas, contrariamente lo que ocurre en otras especies como mango (*Mangifera indica* L.) o litchi (*Litchi chinensis*). Esto puede deberse a que en huertos "emboscados" no ocurre una distribución normal de la luz. Las hojas desarrolladas en la sombra producen menos fotosíntesis neta, pudiendo consumir la mitad de los carbohidratos sintetizados (Gil, 1999).

2.1.2 Portainjerto/variedad

Kremer-Köhne *et al*. citados por Arpaia (2004) observaron que el palto Hass tiene mayor porcentaje de fruta sin presencia de desórdenes fisiológicos en postcosecha, comparado con la variedad 'Fuerte'. El uso de portainjertos clonales de palto es una técnica relativamente reciente y

por ende, la influencia del portainjerto sobre la calidad de la postcosecha es aún poco conocida. A pesar de esto, Marques (2002) demuestra que el portainjerto puede afectar la incidencia y severidad de enfermedades de postcosecha. Indica que, bajo las condiciones australianas, la fruta de los árboles Hass cultivados sobre portainjerto clonal Velvick tienen menor incidencia de enfermedades en postcosecha, comparada con la fruta de los paltos Hass cultivados sobre portainjerto Duke 7.

2.1.3 Nutrición Mineral

La nutrición mineral tiene un significativo efecto sobre la evolución de la fruta durante el almacenaje en frío y su vida en estantería, ya que incide en la aparición de desórdenes fisiológicos y enfermedades de postcosecha (Whiley, 2001).

Thompson (2010), señala que la composición química de la fruta es afectada por el estatus nutrimental del suelo donde se desarrollan, afectando su vida de almacenamiento. Asimismo menciona que la relación mineral de la fruta no es predecible para tal fin, sin embargo en algunos casos el estatus nutrimental si es usado para determinar la postcosecha.

El palto se caracteriza por presentar en general una baja demanda de nutrientes y la estrategia de fertilización del palto Hass en Chile se basa en la aplicación de nitrógeno, boro y zinc al suelo (Barrera *et al.*, 2006). La influencia de las prácticas nutricionales sobre la calidad de la palta no ha sido esclarecida, sin embargo distintas investigaciones han demostrado que el estado nutricional del fruto puede afectar su calidad de postcosecha. Estudios previos sugieren que la calidad de la palta parece estar afectada, en primer lugar, por el calcio (Atkinson *et al.*, 1980; Poovaiah *et al.*, 1988 Thorp *et al.* 1997; Penter y Stassen 2000) y en segundo lugar por el nitrógeno (Arpaia *et al.* 1995) y el boro (Smith *et al.*, 1997).

2.1.3.1 Calcio

El calcio es el mineral más frecuentemente relacionado con la vida útil de la fruta y los desórdenes fisiológicos internos, existiendo varios tra-

bajos donde después de la mejora de la nutrición de calcio, se mejora el almacenaje de esta fruta (Atkinson *et al*., 1980; Poovaiah *et al*., 1988). Thorp *et al*. (1997) y Penter y Stassen (2000) indican que altas concentraciones de calcio en la fruta están relacionadas a una menor incidencia de pardeamiento de pulpa y bronceado vascular. También un aumento de las concentraciones de calcio en las frutas, se ha correlacionado con retraso en la maduración (Vuthapanich, 1998). Estos efectos se explicarían en parte a través de la respiración; un retraso en el "peak" de etileno y un retraso general de la senescencia de la fruta. Chaplin y Scott (1980) encontraron que aplicaciones de calcio en postcosecha reducen lesiones cuando la fruta es almacenada a bajas temperaturas. Mientras que Cutting *et al*. (1992) reportan una disminución del contenido calcio en la fruta cuando avanza la madurez, con un incremento en la decoloración de la pulpa cuando se someten a bajas temperaturas de almacenajes. Hofman *et al*. (2002) establecieron una relación indirecta entre la concentración de calcio en la palta Hass y el color de la pulpa a maduración. Por lo tanto, existe un importante conjunto de pruebas que vinculan directamente las concentraciones de calcio en la fruta con trastornos fisiológicos que pueden desarrollarse en las paltas durante el manejo de postcosecha.

La edad de la fruta también determina la condición interna. Fruta cosechada tardíamente en la temporada, es más susceptible a sufrir desórdenes en su almacenaje debido a que su contenido de calcio es más bajo, comparado con fruta cosechada más temprano (Penter y Stassen, 2000; Thorp *et al*., 1997).

Si bien la administración de calcio para optimizar las concentraciones en la fruta parece deseable, es difícil de lograr. El calcio se absorbe a través de las raíces y se distribuye al resto del árbol principalmente a través del xilema. En las hojas, que pierden la mayor cantidad de agua, se acumula más calcio que otros órganos. Así pues, los factores que afectan la acumulación de calcio en la fruta son: las concentraciones de calcio en el suelo, las concentraciones de otros cationes (debido a que compiten por la absorción de calcio por las raíces), el vigor del árbol (Witney *et al*., 1990), el manejo del riego y probablemente, el portainjerto.

2.1.3.1.1 Calcio y pardeamiento de pulpa

El pardeamiento de pulpa (**Foto 2**), llamado también pardeamiento interno o decoloración de pulpa, se puede producir por una serie de factores, incluyendo presencia de altas concentraciones de CO_2 durante el almacenamiento, uso de baja temperatura durante almacenaje, edad avanzada de la fruta a cosecha o senescencia de la fruta. Muchos desórdenes, como el pardeamiento de pulpa están relacionados con deficiencia de calcio, que induce fallas en el sistema de membranas celulares. El pardeamiento es resultado de la oxidación de compuestos fenólicos que estaban almacenados en las vacuolas, los que luego de la pérdida de las membranas son oxidados por la acción de la enzima polifenol oxidasa (PPO) presente en el citoplasma (Bangerth, 1976).

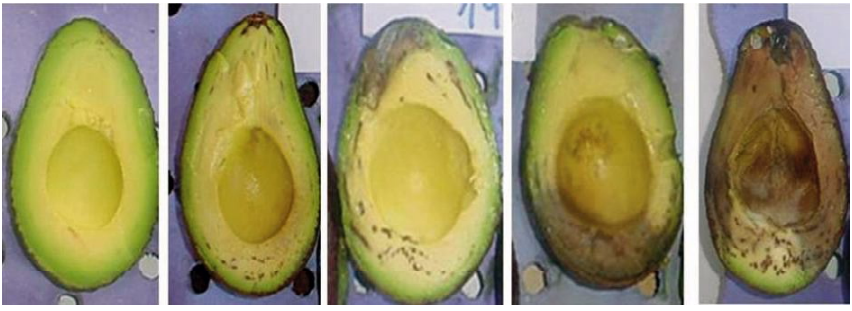


Foto 2. Pardeamiento de pulpa.

Hofman *et al*. (2002), reportaron una menor incidencia de pardeamiento de pulpa en palta Hass a mayor contenido de calcio, magnesio y mayor relación (Ca+Mg)/K. Por otro lado, una alta concentración de fósforo y potasio se correlacionó con una mayor incidencia de este desorden. En relación a la fertilización nitrogenada, Lovatt (2000) observó un ligero aumento de pardeamiento interno de pulpa asociado a un tratamiento de fertilización con nitrato de amonio distribuido en dos dosis, en agosto y septiembre (febrero y marzo del hemisferio sur), aplicado en un año de alta producción. Respecto al calcio, se ha observado que altas concentraciones de este nutriente reducen el pardeamiento de pulpa y el bronceado vascular (Thorp *et al.*, 1997; Penter y Stassen, 2000). Chaplin y Scott (1980) encontraron que aplicaciones de calcio en postcosecha reducen lesiones cuando la fruta es almacenada a bajas temperaturas.

2.1.3.1.2 Calcio y pardeamiento vascular

En palta Fuerte, la combinación entre alto contenido de potasio en el suelo (mayor a 98 mg · kg^{-1}) y alta concentración de potasio foliar (mayor a 1,4%), se correlaciona con una menor incidencia del pardeamiento vascular (**Foto 3**), después de almacenaje en frío (Du Plessis y Koen, 1988). Por su parte, Thorp *et al*. (1997) observaron en paltas Hass que la concentración de calcio en fruta es un mejor indicador sobre el posible nivel de pardeamiento vascular, que el contenido de calcio, magnesio y potasio en la fruta. De este modo, la fruta con un mayor contenido de calcio presentaría un menor pardeamiento vascular. Por otro lado, un aumento del magnesio en la fruta se correlaciona con una mayor incidencia del pardeamiento vascular, precisamente por una baja en la absorción de potasio. Además, mayor nitrógeno en la pulpa también aumenta la incidencia de este desorden (Du Plessis y Koen, 1988).

Foto 3. Pardeamiento Vascular.

En general, la susceptibilidad a desórdenes fisiológicos aumenta al retrasarse la cosecha, como lo señalan Carrillo (1991) y Barrientos (1993).

2.1.3.2 Nitrógeno

El nitrógeno es el nutriente mineral más importante que determina la producción en el palto. Los desajustes en la aplicación de éste pueden generar grandes crecimientos vegetativos en desmedro de la producción (Whiley, 2001). El exceso de nitrógeno va acompañado de un crecimiento vigoroso de los brotes, gran tamaño y coloración verde oscu-

ra de las hojas (excepto los crecimientos nuevos). Esto conduce a árboles excesivamente vegetativos que favorecen la acumulación de carbohidratos y nutrientes en general en los brotes, a expensas de la fructificación.

2.1.3.3 Boro

El boro es un elemento típicamente deficiente en los huertos de paltos, por lo que es clave un cuidadoso control de las aplicaciones para aumentar la producción y mejorar la calidad de la fruta (Wolstenholme, 1999). La deficiencia tendría un efecto en adelantar el ablandamiento de la fruta luego de cosechada. Debido a que el 95% del boro total se encuentra en la pared celular, se le atribuye un rol en la preservación de la estructura de las paredes celulares (Bonilla, 2000; Smith *et al.*, 1997).

2.1.3.4 Estrés hídrico

Resulta difícil cuantificar los efectos del riego sobre la calidad de la fruta en postcosecha. Sin embargo, Bower (1985) observó que el déficit hídrico previo a cosecha aplicado a paltos, influye sobre los niveles de polifenol oxidasa medidos en paltas maduras almacenadas por 30 días a 5,5ºC. Este autor también observó que el déficit hídrico de precosecha influye sobre la capacidad de la fruta de soportar bajos niveles de O_2 y altos niveles de CO_2. La fruta proveniente de árboles con estrés hídrico de precosecha presentan más desórdenes fisiológicos después del almacenaje y madurez, comparada con la fruta de árboles no estresados.

Plantas sometidas a déficit hídrico presentan un menor nivel de calcio en pulpa (Lahav, 1990). Esto se puede explicar porque el calcio entra a las plantas a través de flujo masal, por lo cual a mayor transpiración mayor absorción de calcio. Esto se observa en otras especies, por ejemplo en tomate la influencia de "*blossom end root*" (deficiencia de calcio) que se presenta con mayor incidencia los años de baja pluviometría, al igual que el "*bitter pit*" en manzanas. También es de esperar que el nivel de calcio en los frutos será más alto en las zonas donde la evapotranspiración de referencia es mayor (Lahav, 1990).

2.1.3.5 Poda y reguladores de crecimiento

Otra consideración muy importante para los frutales tropicales y subtropicales es la época de poda. Si la poda o el anillado ocurren en una época en la que promueven el crecimiento vegetativo a expensas del crecimiento del fruto, se puede producir un desbalance del calcio y una reducción del tamaño final del fruto. Whiley *et al*. (1992) encontraron en paltos Hass mayores niveles de calcio durante las primeras ocho semanas de crecimiento del fruto, cuando el crecimiento vegetativo de primavera había sido controlado con el regulador de crecimiento [(2Rs, 3Rs)-1-(4-clorofenil)-4, 4-dimetil-2 (1,2,4-triazolil-1) pentanol-3] (paclobutrazol).

Cutting y Bower (1992) demostraron que, bajo las condiciones subtropicales de Sudáfrica, las paltas provenientes de árboles en los que el crecimiento vegetativo había sido controlado mediante poda, tenían mayores niveles de Ca, Mg, K y P a cosecha (Hoffman, 2002, datos no publicados). También observó que cualquier tratamiento de poda que estimule el crecimiento vegetativo cerca o durante la cuaja y el crecimiento de los frutos, reduce su calidad y que los reguladores de crecimiento que reducen el crecimiento pueden disminuir estos problemas. En Australia las recomendaciones actuales estipulan que los tratamientos de manejo del dosel de los árboles deben evitar el aumento del crecimiento vegetativo durante el crecimiento del fruto, para no afectar la calidad de la fruta.

EFECTO DE LA NUTRICIÓN Y RELACIONES HÍDRICAS EN LA CALIDAD DE POSTCOSECHA DE LA PALTA

John P. Bower,
Ph.D., USA.[1]

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

[1]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 (Tesfay *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.

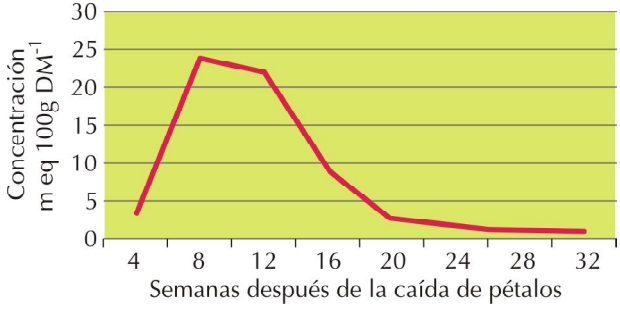


Figura 1. Cambios en la concentración de calcio durante el desarrollo de la fruta.

En Sudáfrica se ha encontrado que se requiere una concentración de calcio >1000 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 CA45 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 CA45 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.

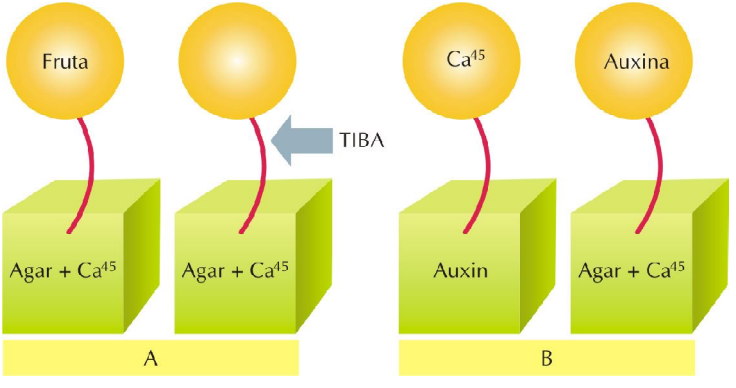


Figura 2. Diagrama que muestra el rol que juega el transporte de auxina en la absorción de calcio.

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).

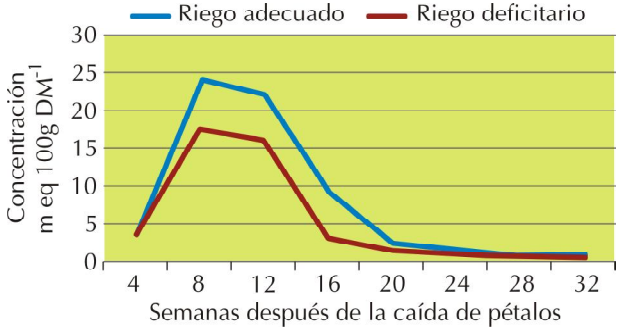


Figura 3. Efecto del riego sobre la concentración de calcio durante el desarrollo de la fruta.

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 iníciales 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**).

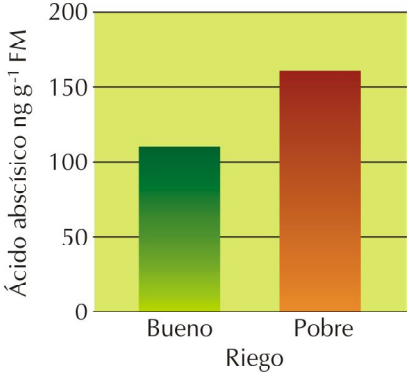


Figura 5. Efecto del riego sobre el contenido de ácido abscísico en palta.

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

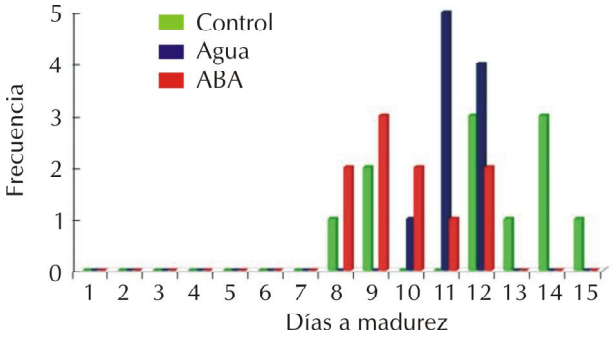


Figura 6. Efecto de la infusión de agua o ácido abscísico sobre los días que demoran en madurar según grupos de fruta.

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.

CARACTERIZACIÓN DE LOS HUERTOS CULTIVADOS CON PALTO EN CHILE

Raul Ferreyra,
Ing. Agrónomo, M.Sc.
Gabriel Sellés,
Ing. Agrónomo Dr.
Daniela Karlezi,
Ing. Agrónomo.
Claudia Troncoso
Ing. de Ejecución en Agronomía.

4.1 SUELO

Las plantaciones de palto en Chile se encuentran principalmente en dos grupos de tipos de suelos, el primero de ellos son los alfisoles de origen aluvial, textura franca, alcalinos y pobres en materia orgánica. El segundo grupo está representado por suelos de cerros de origen granítico y/o basáltico, de textura franco arcilloso, generalmente carentes de uniformidad y pobres en materia orgánica. Ambos grupos de suelos presentan características físicas y químicas distintas a los andisoles de donde es originario el palto (Anguiano-Contreras *et al.*, 2003).

De trabajos realizados por Ferreyra y Sellés (2007) en la Región de Valparaíso, donde se concentra más del 80% de las plantaciones de palto, se desprende que el 66,5% de los paltos de esta Región se encuentran plantados en suelos con un pH (en agua) sobre 7,0 y un 48,2% sobre 7,5 (**Figura 7**). Según Razeto (1993), el palto limita su crecimiento en suelos con pH superior a 7,0.

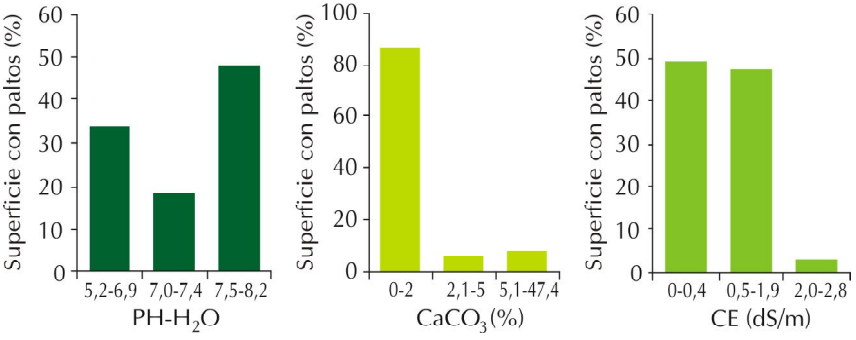


Figura 7. Superficie cultivada con palto de acuerdo a tres propiedades químicas de los suelos en la Región de Valparaíso, Chile (pH en el agua, carbonato de calcio ($CaCO_3$) y salinidad (CE en dS/m).

Además, un 10% de la superficie plantada con paltos se encuentra en suelos con altos contenidos de $CaCO_3$ totales (> 5% $CaCO_3$) y un 6% se ubica en el rango medio (de 5 a 2% $CaCO_3$), lo que origina síntomas visibles de clorosis férrica (Razeto, 1993; Gardiazábal, 2004).

Foto 4. Clorosis férrica.

En la Región de Valparaíso, aproximadamente un 5% de los huertos está plantado en suelos con valores de conductividad eléctrica (CE) superiores a 2 dSm^{-1} que según Ayers y Westcot (1985), provoca un 10% de pérdidas de rendimiento.

Respecto a las propiedades físicas del suelo, cerca de un 5% de los huertos plantados con paltos (**Figura 8**) presenta un contenido de arcilla igual o superior al 40%.

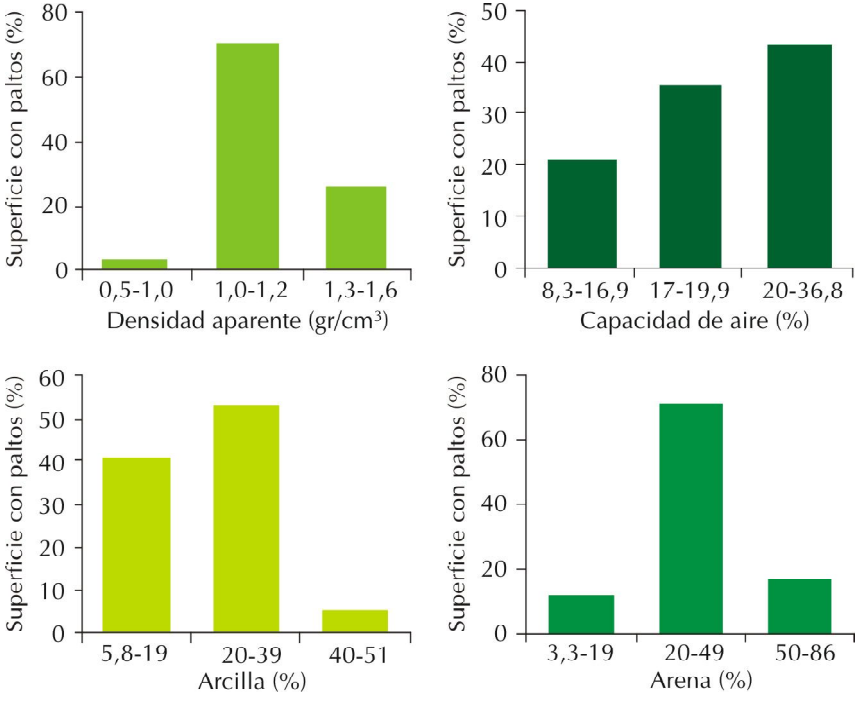


Figura 8. Superficie cultivada con palto respecto a cuatro propiedades físicas de los suelos en la Región de Valparaíso, Chile.

El 81% de la superficie plantada presenta clase textural con un contenido de arena menor al 50% y ninguno de los suelos supera el 40% de capacidad de aire (volumen de aire del suelo a 0,33 atmósfera), encontrándose más de la mitad entre 8,3% y 20%. Ferreyra *et al*. (2005) indican que el palto para desarrollarse en forma adecuada requiere de un porcentaje de aire en el suelo del orden del 27%.

En la **Figura 9**, se presenta la capacidad de aire del suelo de 42 huertos de paltos utilizado en este estudio, donde se puede observar que los valores son similares a las reportados por Ferreyra y Sellés (2007). Se puede observar que aproximadamente el 70% de los huertos evaluados presenta niveles de capacidad de aire inferiores a 20%.

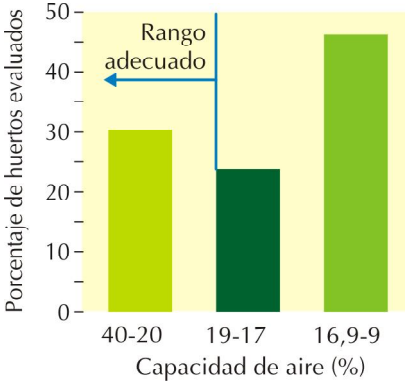


Figura 9. Capacidad de aire de 42 huertos en los Valles de Río Maipo, Aconcagua, Ligua y Petorca.

En el **Cuadro 1**, se muestra las características físicas y químicas de las principales series de suelo en que se encuentran los cultivos en la Región de Valparaíso, las cuales representan el 70% de la superficie total de las plantaciones de palto en esta zona.

Los datos obtenidos de los estudios de suelos, si bien no representan todas las variaciones que pueden existir dentro de las series, muestran un valor referencial de las características físicas y químicas presentes en los suelos.

Las nuevas plantaciones de palto en Chile se han realizado principalmente en laderas de cerro, donde generalmente se presentan condiciones heterogéneas de textura y profundidad efectiva de suelo (desde 30 cm a 1,5 m). El material parental de los cerros de la zona central es de origen granítico y basáltico, por lo tanto son suelos con texturas arcillosas en su mayoría. Además, se presentan pendientes que varían desde 15% a más de 100% (Ferreyra *et al*., 2001).

Cuadro 1. Características físicas y químicas de las principales series de suelos donde se cultiva el palto en la Región de Valparaíso.

Nombre Serie	Superficie ha	pH H_2O	$CaCO_3$ %	Da g cm^{-3}	Capacidad de aire %	C E dS m^{-1}	Arcillas %	Arena %
As Challay	2.122	5,8	0,0	1,15	22,3	0,1	18,1	43,7
Ocoa	1.423	7,5	0,0	1,16	18,9	1,4	21,6	35,6
Chagres	728	7,2	0,0	1,10	20,2	0,1	30,7	25,2
Hijuelas	647	7,5	0,0	1,13	18,7	1,5	20,8	29,4
Lo Vásquez	610	6,7	0,0	1,40	16,2	0,3	14,8	55,8
Calera	431	8,2	2,8	1,21	17,8	0,7	20,4	31,3
Pullalli	407	7,2	0,0	1,00	23,4	0,5	30,8	13,6
Encón	385	7,6	0,0	1,60	13,5	0,3	5,8	74,8
Calle Larga	351	6,6	0,0	1,16	18,3	0,1	23,3	28,6
San Isidro	320	7,8	6,0	0,96	24,8	1,0	35,0	20,5
La Ligua	311	7,6	0,0	1,17	17,5	0,6	30,4	24,3
As La Parva	300	7,5	0,0	1,02	16,6	0,2	50,5	16,8
Hualcapo	285	7,6	0,0	1,45	15,0	1,6	8,4	67,3
Milagro	269	7,8	0,0	1,45	15,5	0,8	9,2	69,3
Putaendo	250	7,2	0,0	1,06	22,9	0,9	23,9	25,6
Catemu	241	7,3	0,0	1,30	16,6	2,0	17,1	43,1
Pataguas	199	8,0	3,5	1,10	21,4	1,4	22,0	20,4
Cristo Redentor	195	6,4	0,0	1,16	17,8	0,1	30,2	25,1
Pocuro	189	6,7	0,0	1,19	21,3	0,1	18,0	40,8
Lo Campo	168	8,0	47,4	1,07	18,8	1,3	33,8	19,5
Sta. Rosa de Casablanca	156	5,6	0,0	1,35	20,1	0,2	7,5	76,3
Colunquén	139	8,2	44,7	1,05	19,2	0,5	37,0	11,9
San Lorenzo	124	7,8	0,0	1,07	24,3	1,0	22,3	44,0
As la Manga	101	7,4	0,0	1,17	21,1	0,2	32,1	46,9

Adaptado de CNR (1979), SAG (2002).

4.2 CLIMA

Los paltos en la zona central de Chile están plantados principalmente en los valles del Río Maipo, Aconcagua, La Ligua y Petorca (**Figura 10**).

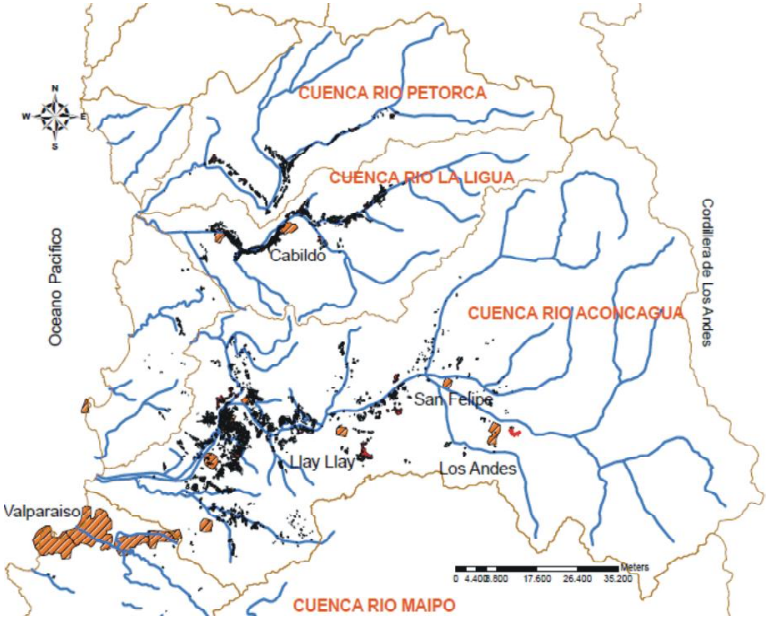
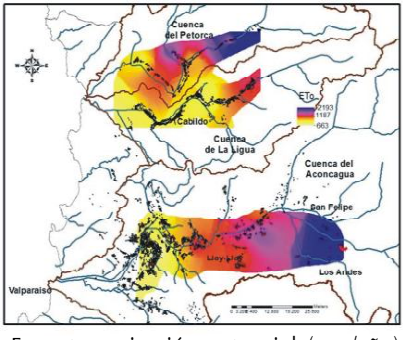
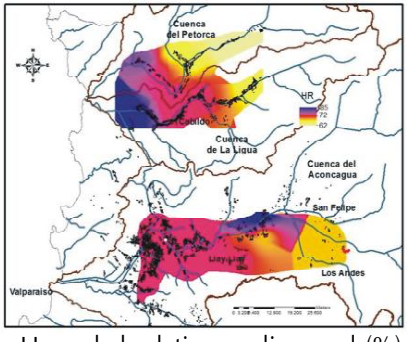


Figura 10. Huertos de paltos (puntos negros) en los Valles de los Ríos Aconcagua, La Ligua y Petorca.

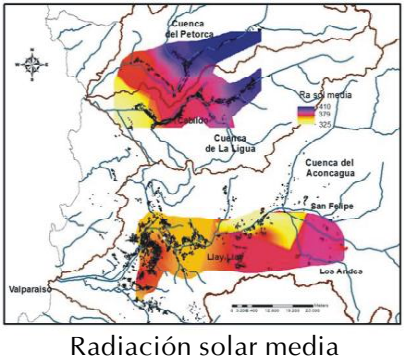
Estos valles nacen en la cordillera de los Andes y terminan en la costa (Océano Pacífico). Las plantaciones de paltos como se observa en la Figura 10 se distribuyen a los largo de los valles. Por lo cual hay plantaciones en zonas muy cercanas al mar (70 m.s.n.m) y otras muy cerca al inicio de la cordillera de Los Andes a 1300 m.s.n.m. Las condiciones climáticas de los huertos son muy variables. A modo de ejemplo, en la **Figura 11** se presenta como varía la evapotranspiración potencial (ETo) a lo largo y entre los valles de la zona central.



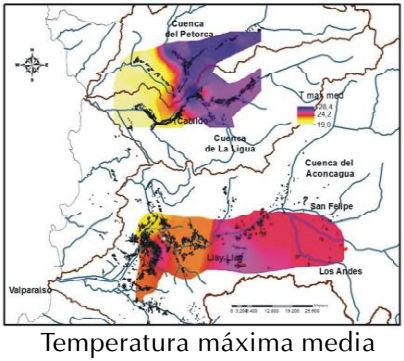
Evapotranspiración potencial (mm/año)



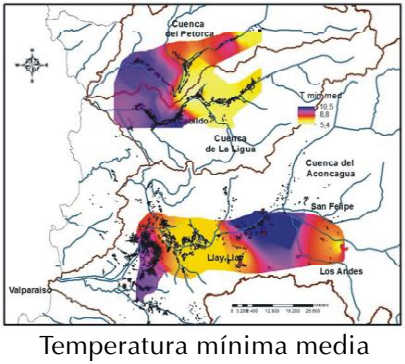
Humedad relativa media anual (%)



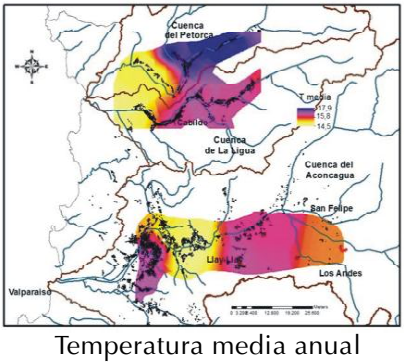
Radiación solar media



Temperatura máxima media



Temperatura mínima media



Temperatura media anual

Figura 11. Variación de la ETo (mm/año), Humedad Relativa, Radiación y Temperatura en 42 huertos de paltos en los Valles del Aconcagua, La Ligua y Petorca.

En la Figura 11, se observa que la ETo anual puede llegar a 1.700 mm/año en las zonas más altas y en las zonas costeras los valores son bastante menores cercano a los 700 mm/año.

En las **Figuras 12a y 12b**, se presentan datos climáticos de 42 huertos de paltos utilizados en este estudio. Los cuales están ubicados en la parte alta media y baja de los valle de Aconcagua, La Ligua y Petorca.

También se puede observar en estas figuras, que en la zonas cercanas a la costa, de menor altura respecto al nivel del mar, las temperaturas medias y máximas, la sumatoria de días grados en base 13ºC y la radiación solar son menores que en las zonas interiores de los valles. Esto es en gran medida la razón porque los huertos de la zona media-alta de los valles alcanzan la madurez de consumo de la fruta aproximadamente 55 días antes que los valles de la costa.

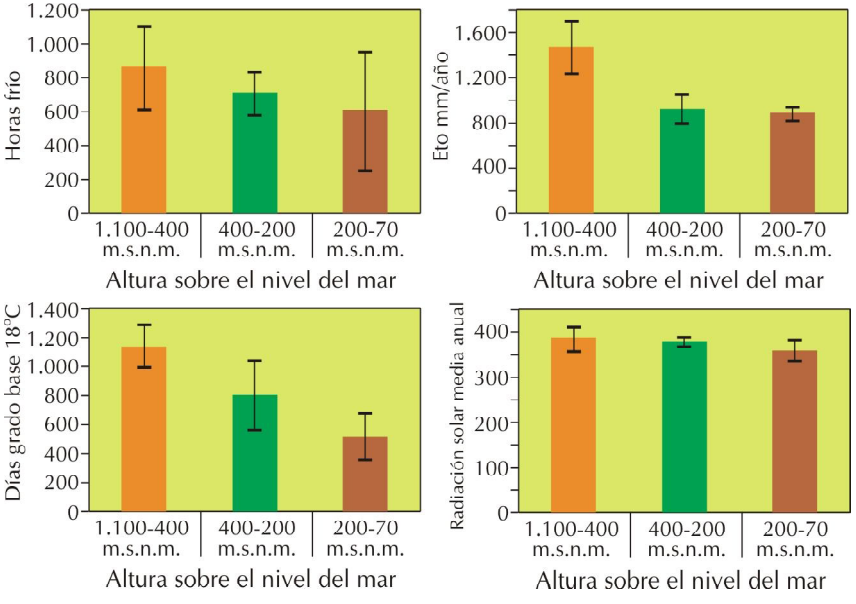


Figura 12a. Variación climática en los Valles del Maipo, Aconcagua, La Ligua y Petorca respecto a la altura sobre el nivel de mar.

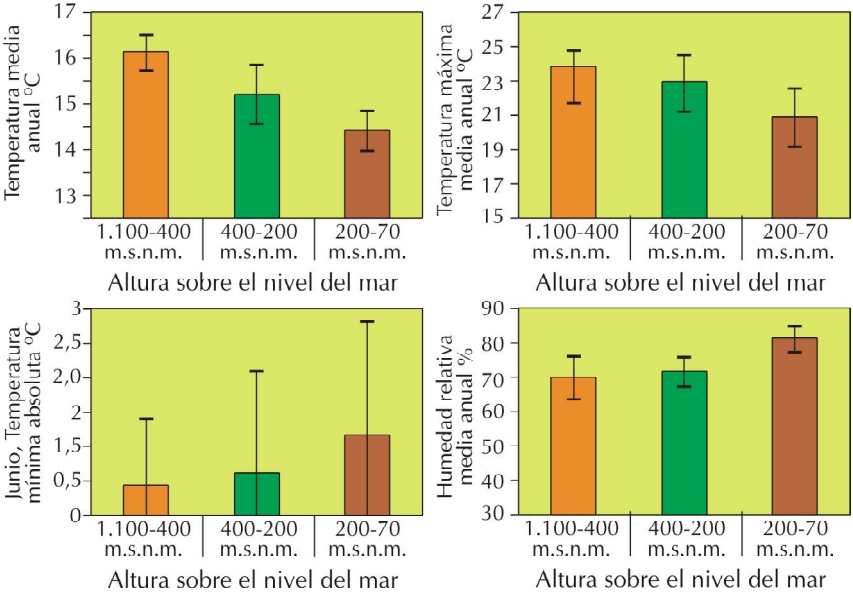


Figura 12b. Variación climática en los Valles del Maipo, Aconcagua, La Ligua y Petorca respecto a la altura sobre el nivel de mar.

4.3 ESTADO NUTRICIONAL DE LOS HUERTOS

Otro elemento de variación en los huertos son los diferentes manejos que se aplican (poda, densidad de plantación, regulación del crecimiento, riego y nutrición) que afectan el nivel nutricional de la fruta a cosecha. En la **Figura 13**, se presenta los niveles nutricionales foliares (marzo) de 42 huertos evaluados durante tres temporadas en los valles de Petorca, La Ligua, Aconcagua y Maipo. De esta información se desprende que hay una gran variación en los niveles nutricionales foliares. A modo de ejemplo, los niveles de nitrógeno muestran que cerca del 30% de los huertos tiene niveles foliares sobre el 2,13%, un 50% de los huertos entre 2,13% y 1,69% y cerca de un 20% de los huertos presentan valores inferiores a 1,68%.

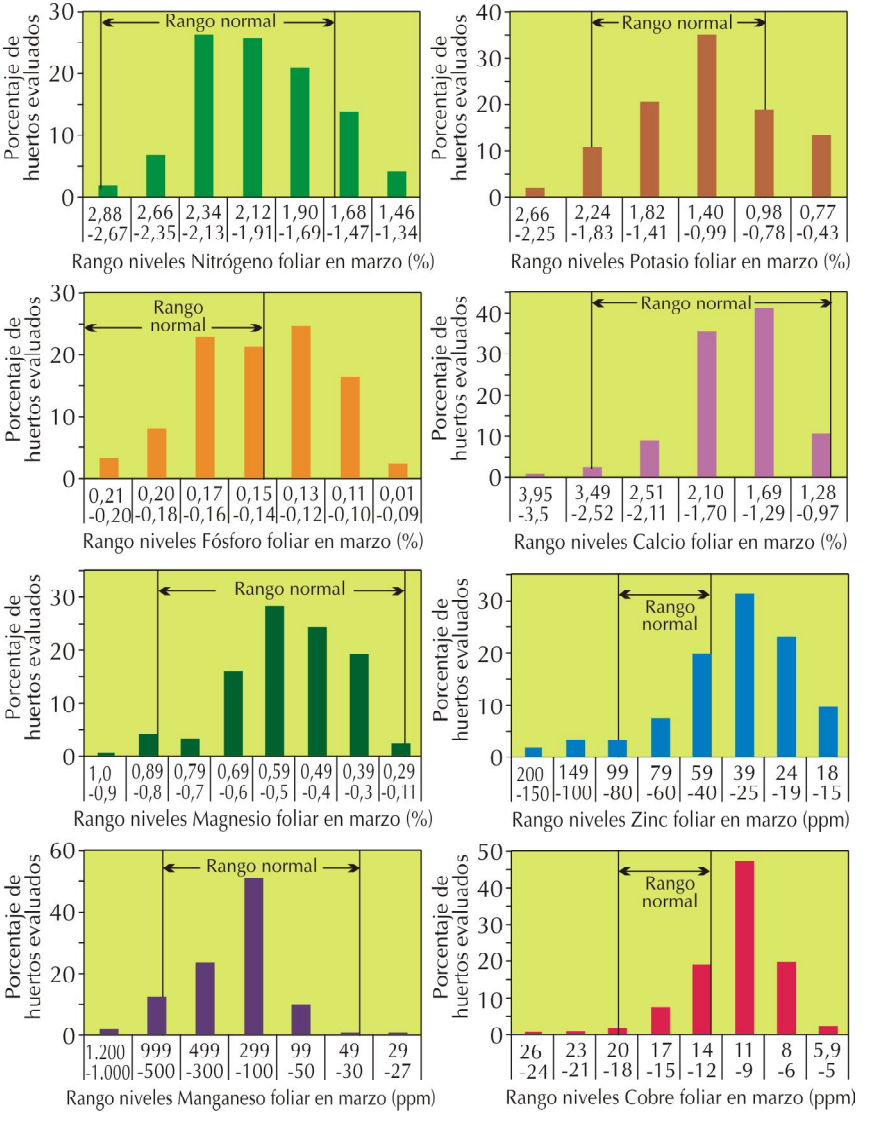


Figura 13a. Niveles nutricionales foliares de N, K, P, Ca, Mg, Zn, Mn y Cu medidos en marzo, en 42 huertos de paltos durante tres temporadas.

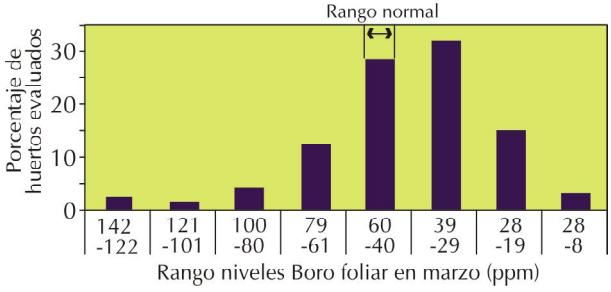


Figura 13b. Niveles nutricionales foliares de B medidos en marzo en 42 huertos de paltos durante tres temporadas.

También se observa que en un número significativo de huertos, los niveles foliares de K, P y B están bajo los estándares normales reportados para esta especie por Emblenton and Jones (1964), Lahav and Kadman (1980) y Whiley *et al*. (1996).

En la **Figura 14**, se presenta la variación de los niveles de nutrientes en la fruta (pulpa) a cosecha de 42 huertos durante tres temporadas. La cosecha se realizó cuando la fruta tenía en promedio un nivel de materia seca del 25,8%, la cual tuvo una desviación estándar de 2,8. Se puede observar que al igual que los niveles foliares, los de la fruta también presentan una gran variación. A modo de ejemplo, se puede ver en la Figura 14 que los niveles en nitrógeno varían entre 2,1 y 0,58%; el potasio entre 3,4 y 0,9%; el fósforo entre 0,3 y 0,09% y el calcio entre 0,13 y 0,02%.

Cerca del 25% de los huertos evaluados se encuentran con niveles de nitrógeno en pulpa a la cosecha superiores a 1,2% (2,1 y 1,27%) y un 40% con valores de Ca inferiores a 0,06% (0,05 y 0,02%).

En la **Figura 15**, se presenta la relación entre el agua aplicada y el agua requerida en los 42 huertos durante tres temporadas. El agua requerida se estimó a partir de la evapotranspiración de referencia (Eto) y el coeficiente del cultivo del palto (0,75).

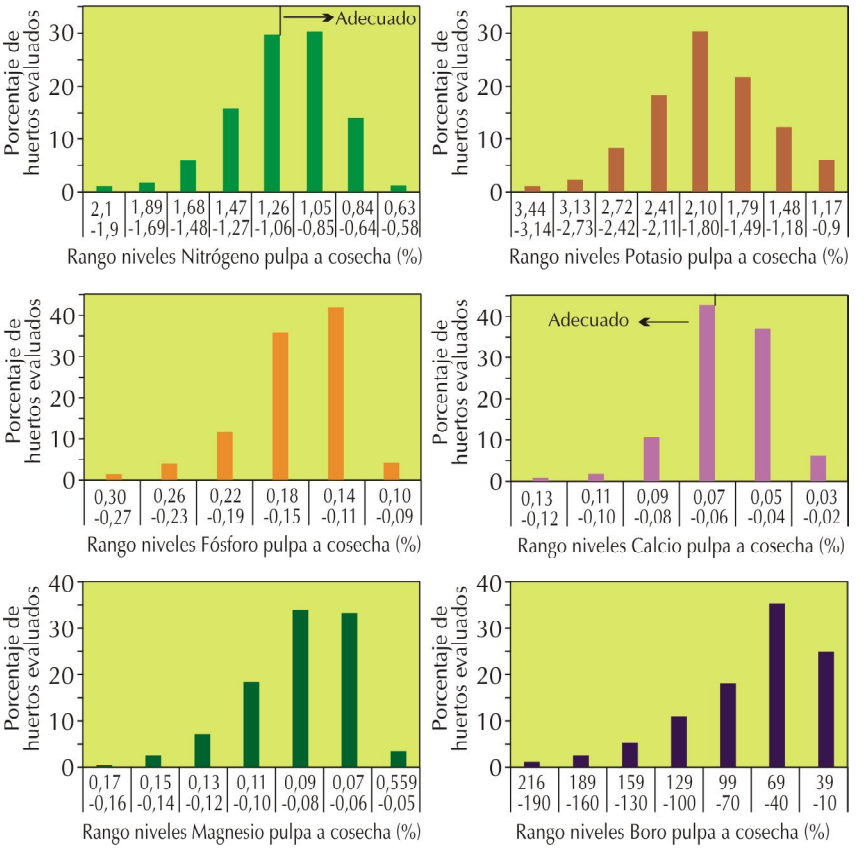


Figura 14. Niveles de nutrientes en la fruta (pulpa) medidos a cosecha, en 42 huertos de paltos durante tres temporadas (materia seca a cosecha promedio 25,8%).

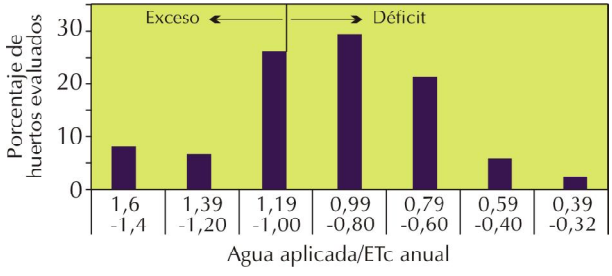


Figura 15. Reposición de los requerimientos hídricos en 42 huertos de paltos durante tres temporadas.

HETEROGENEIDAD EN POSTCOSECHA DE LOS HUERTOS DE PALTA HASS EN CHILE

Bruno Defilippi,
Ing. Agrónomo Ph.D.
Paula Robledo,
Ing. Agrónomo.
Raul Ferreyra,
Ing. Agrónomo M.Sc.
Daniela Karlezi,
Ing. Agrónomo.

La producción de palta y en general de la fruta chilena está condicionada a la venta en un mercado de destino distante como Estados Unidos. En general, la palta tiene una vida de postcosecha media (30 a 50 días) determinada por algunas características de la fruta como alta tasa respiratoria, alta tasa de producción de etileno y susceptible a temperaturas inferiores a 4-5ºC, entre otras.

Uno de los problemas que enfrenta la palta chilena en los mercados de destino es la heterogeneidad del producto, la que se manifiesta tanto en características externas, como color de epidermis y características de maduración como el tiempo necesario para alcanzar la madurez de consumo. Esta situación, a pesar de ser observada al momento de la recepción en términos de color, tiene un gran efecto en el consumidor final al no poder disponer de un producto de madurez uniforme. Como consecuencia, muchas veces existe un costo extra asociado al momento de recepcionar un embarque con fruta desuniforme en sus características, pero más importante aún, existe el riesgo de llegar con fruta muy heterogénea a nivel de consumidor sin cumplir las expectativas de calidad de este producto.

Las causas que afectarían esta heterogeneidad van desde diferencias entre la edad fisiológica de las paltas, dado por el largo período de floración de la especie, hasta el efecto de los factores de precosecha, como clima, suelo o manejo cultural. Si bien la etapa de cosecha es importante para poder clasificar la fruta, durante las labores de embalaje de palta solamente es posible realizar una segregación automatizada de la fruta basada en aspectos externos de calidad, como color y tamaño (calibre). Sin embargo, hasta la fecha no existe para la palta un instrumento, índice o metodología en pre o postcosecha que permita segregar en forma eficiente lotes de acuerdo a su capacidad de almacenamiento (**Figura 16**).

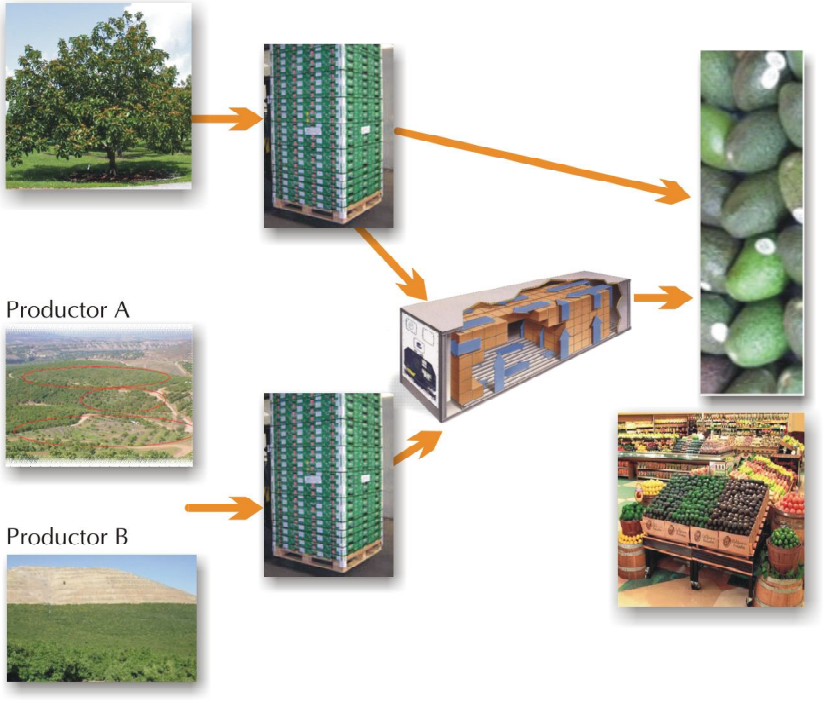
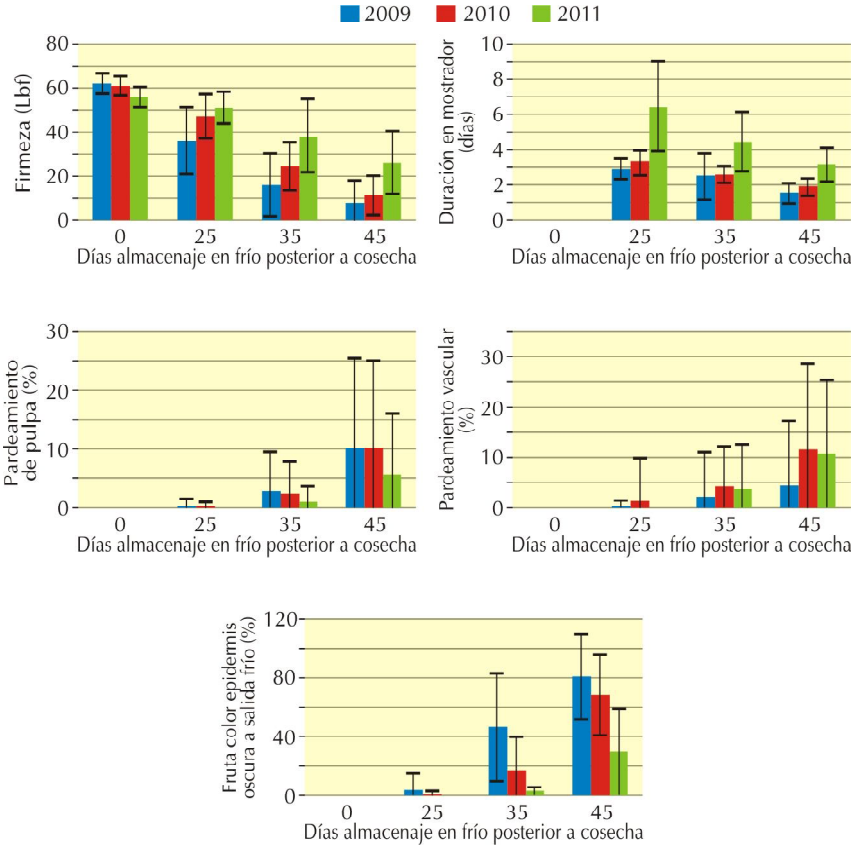


Figura 16. Origen de la heterogeneidad a nivel de consumidor en paltas.

Con el objetivo de llegar a mercados distantes, en la industria se utilizan una serie de tecnologías que permiten aumentar la vida de postcosecha del producto, incluyendo atmósfera controlada, modificada e inhibidores de etileno, entre otros. Sin embargo, al no tener un grupo de fruta homogéneo, ya sea proveniente de un productor o varios productores, la eficiencia de estas tecnologías puede ser afectada negativamente incrementando en algunos casos la heterogeneidad propia de la fruta.

Debido a la importancia de tratar de entender y potencialmente manejar esta heterogeneidad en la fruta, el principal objetivo de este capítulo es cuantificar la magnitud de esta variabilidad en los distintos atributos de calidad y condición de la palta chilena. Con este objetivo, se caracterizó durante 3 años la vida de postcosecha de fruta proveniente de 42 sitios (huertos), que se diferenciaban en variables de clima, suelo y manejo cultural. Una vez cosechada la fruta, fue almacenada por 25, 35 y 45 días a 4-5ºC y para cada período se realizó una simulación de comercialización hasta que la fruta alcanzó su madurez de consumo. Las variables de calidad y condición medidas incluyeron color de epidermis, firmeza, días a madurez de consumo y desórdenes fisiológicos, entre otros. A continuación se presentan los resultados para algunas de las variables estudiadas.

En la **Figura 17**, se presenta los valores promedio y la variabilidad (desviación estándar) de la fruta estudiada (42 sitios), en cuanto a parámetros de postcosecha (firmeza de la fruta a la salida de frío, viraje de color de la fruta a la salida de frío, pardeamiento de pulpa en mostrador, duración en mostrador). En la Figura 17, se observa que hay una gran variabilidad entre las frutas muestreadas en los sitios estudiados, sobre todo cuando aumentan los días de almacenamiento en frío. Por otra parte, se observa que la fruta en general presenta una buena postcosecha cuando el almacenaje en frío es sólo de 25 días. Debido a esto, los análisis de la información se concentrarán en la postcosecha de fruta almacenada por 35 y 45 días. En la Figura 17, se puede observar que la firmeza de la fruta a la salida de frío está relacionada con la variación de color a la salida de frío y la duración en mostrador.



% Color 4 + 5 corresponde a fruta virada a negra a la salida de frío;
% Color 1 + 2 y 3 corresponde a fruta verde a la salida de frío.

Figura 17. Valores promedio y variabilidad (desviación estándar) de la fruta estudiada (42 sitios), en cuanto a parámetros de postcosecha (firmeza, viraje de color, pardeamiento de pulpa, pardeamiento vascular, duración en mostrador) en tres temporadas.

5.1 FIRMEZA DE PULPA

Si bien la medición de firmeza de pulpa a cosecha no es una variable ampliamente utilizada por la industria chilena, al menos hasta ahora, si puede ser considerada un parámetro más que contribuye a establecer el potencial de almacenamiento de la fruta. En general se observó que al momento de cosecha existió una baja heterogeneidad entre los sitios, concentrándose principalmente en las categoría de fruta muy firme (>a 50 lbf) (**Figura 18**). Sin embargo, a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento o envío, como 25 y 45 días, esta homogeneidad inicial desaparece dando lugar a una mayor heterogeneidad entre sitios, ubicándose entre rangos muy bajos de firmeza (<10lbf) hasta la categoría firme (cercana a 40 lbf). En años de paltas con menor potencial de almacenamiento, puede existir una disminución en la heterogeneidad pero concentrada en las categorías de fruta blanda lo cual corresponde a una fruta de difícil manejo en destino.

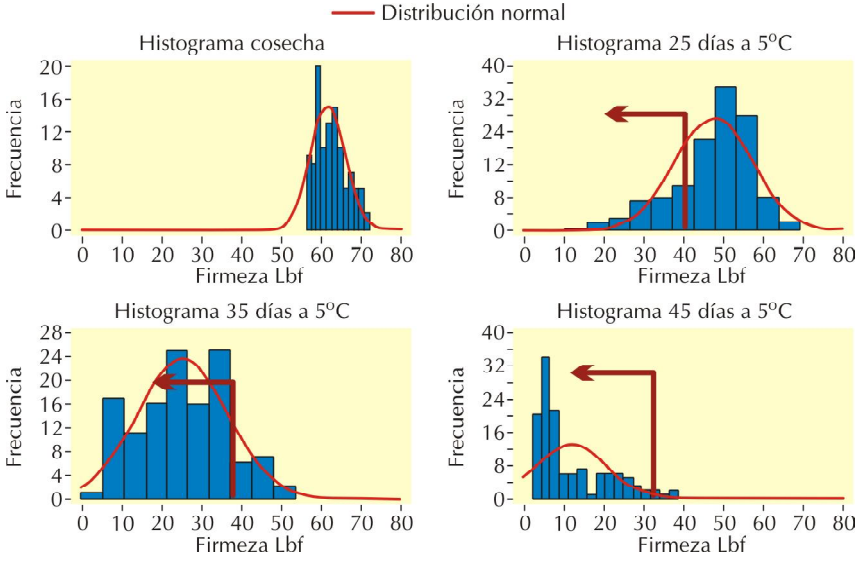


Figura 18. Distribución de firmezas en fruta proveniente de 42 sitios, temporada 2009-2010. Las paltas fueron almacenadas por 25, 35 y 45 días a 4-5ºC.

5.2 COLOR DE EPIDERMIS

Como se sabe, una de las preferencias del consumidor por palta Hass es el cambio de color verde a pardo/negro que sufre la fruta a medida que madura, siendo un importante indicador del estado de madurez de la fruta. Sin embargo, al momento de llegar la fruta a destino, quizás es este atributo el que más evidencia el nivel de heterogeneidad de la fruta en la caja, pallet o contenedor. La falta de homogeneidad en este atributo es conocida como "tablero de ajedrez" o "checkerboard" (término en inglés) y quizás es el más reconocido por la industria en toda la cadena de comercialización (**Foto 5**). En general, una palta a cosecha no presenta problemas en este atributo ya que incluso es posible hacer una selección a nivel de "packing". Por ejemplo, como se observa en la **Figura 19**, el 100% de las paltas a cosecha se puede clasificar como verdes, sin embargo, a medida que aumenta el período de almacenamiento o envío comienza a manifestarse la heterogeneidad en el desarrollo de color del producto, con fruta prácticamente en distintos niveles de porcentaje de color verde. Esto es muy característico, ya que en palta el color inicial de la fruta no es un indicador del nivel de madurez de la fruta y menos del potencial de almacenamiento. Similar a lo observado para firmeza, un período de envío más extenso, o en fruta con menor potencial de almacenamiento, se puede presentar una menor heterogeneidad pero con paltas en avanzado estado de color.

Foto 5. "Tablero de ajedrez" o "checkerboard".

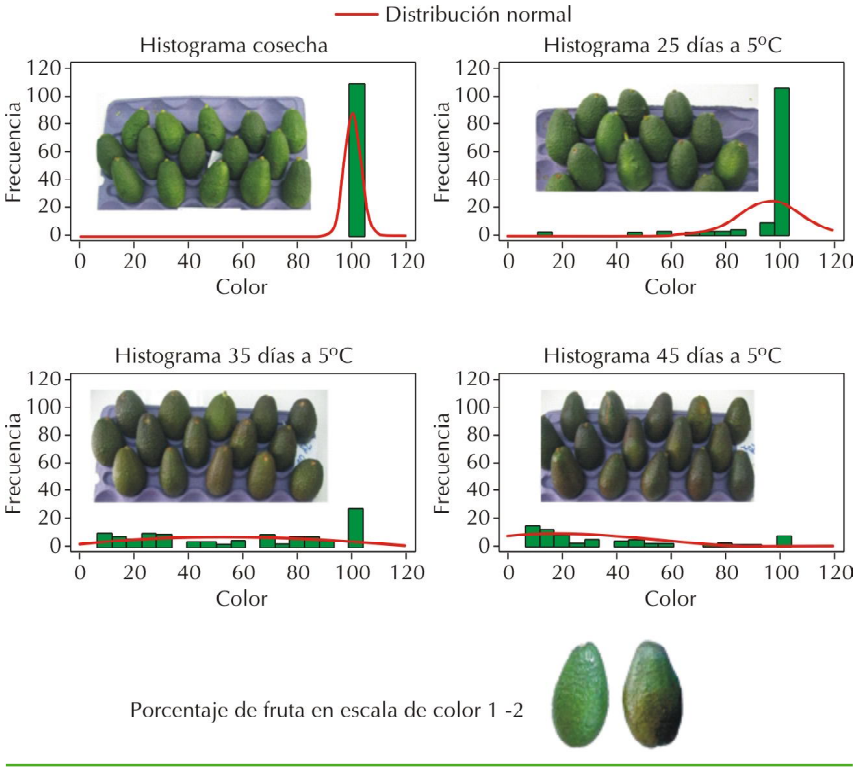


Figura 19. Histograma de frecuencia del porcentaje de fruta en escala de color 1-2 de 42 sitios, temporada 2009-2010. En paltas almacenadas por 25, 35 y 45 días a 4-5ºC.

5.3 PARDEAMIENTO DE PULPA

De los desórdenes fisiológicos evaluados, el pardeamiento de pulpa fue quizás uno de los más importantes a pesar que, en general, la fruta no presentó grandes problemas por provenir de cosechas de inicio a media estación. Es posible señalar, que en general y similar a lo observado en las variables ya descritas, con el aumento del período de almacenamiento/envío de la fruta, se observa un aumento en la heterogeneidad en el desarrollo de desórdenes.

5.4 TIEMPO A MADUREZ DE CONSUMO

Quizás un atributo de la fruta muy apreciado por el consumidor y no siempre considerado por el comercializador, es el tiempo en que la fruta se demora en ablandarse y desarrollar las características propias de una fruta lista para el consumo. En general, para gran parte de las frutas, incluyendo la palta, a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento/envío, disminuye el tiempo en alcanzar madurez de consumo, lo que se refleja en la **Figura 20**. De acuerdo a lo esperado, nuevamente se observó una importante diferencia entre sitios, lo que nuevamente está condicionado a las características de cada huerto o situación. Por ejemplo, para 25 días de almacenamiento, hay fruta que madura en 5 días y otras prácticamente en 2.

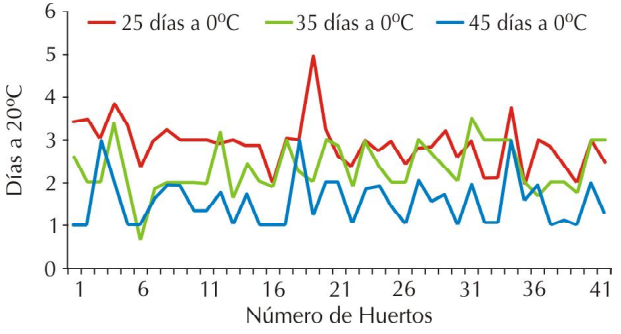


Figura 20. Tiempo que demora la fruta en alcanzar madurez de consumo de 42 sitios, temporada 2009-2010. En paltas almacenadas por 25, 35 y 45 días a 4-5ºC.

5.5 MATERIA SECA

Un atributo de la fruta muy apreciado por el consumidor es la calidad organoléptica de la fruta, la cual está relacionada directamente con el contenido de aceite que ésta tenga, medida a través de la materia seca. En la **Figura 21**, se observa que los huertos de la costa alcanzan el 23% de materia seca requerido para cosechar la fruta 55 días más tarde respecto a los de la zona media alta de los valles. Los valores presentados en la Figura 21 son el promedio de aproximadamente 50 frutos, los

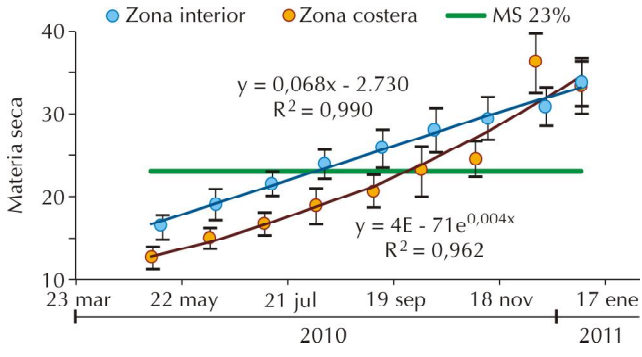


Figura 21. Evolución de la materia seca en dos huertos de palto Hass sobre patrón Mexícola.

cuales presentan una variabilidad importante representada en este caso por la desviación estándar. La diferencia en materia seca entre las zonas costeras e interiores se debe a las diferencias climáticas (radiación, temperatura evapotranspiración potencial, amplitud térmica, etc.) que está relacionada con la altitud de la zona respecto al nivel del mar.

En la **Figura 22**, se puede observar que aproximadamente el 30% de la variación de días en lograr la materia seca está definida por las características climáticas de la zona. Otras razones de esta diferencia pueden

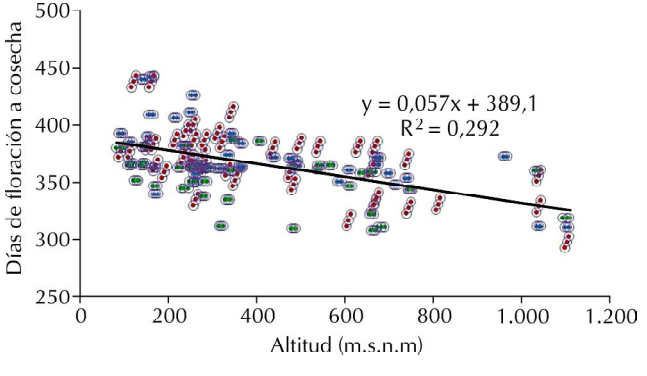


Figura 22. Relación entre los días de floración a cosecha y altitud en 42 huertos durante tres temporadas (verde: temporada 2009; rojo: temporada 2010 y azul: temporada 2011).

ser atribuidas a manejo (nutrición nitrogenada, poda, edad del huerto, densidad de plantación, etc.). De acuerdo a lo esperado, nuevamente se observó una importante diferencia entre sitios lo que nuevamente está condicionado a las características de cada huerto o situación.

5.6. ¿PODEMOS PREDECIR ESTA HETEROGENEIDAD EN POSTCOSECHA?

Si bien es importante establecer el nivel de heterogeneidad de las paltas, más importante es aún definir como podemos disminuir esta variabilidad o como se afecta el manejo de postcosecha con las distintas tecnologías disponibles. Sin duda, una de las áreas más desafiantes es predecir la variabilidad y más aún el comportamiento en postcosecha que tendrá un grupo de fruta. Este gran desafío está condicionado principalmente por el gran número de variables involucradas en definir el comportamiento de una fruta, las que van desde factores de precosecha (clima, suelo, pendiente, edad de la fruta, etc.) a postcosecha (madurez de cosecha, temperatura, etc.).

De las variables medidas una vez cosechada la fruta, el contenido de aceite (o materia seca) es la más mencionada como un "indicador" del potencial de almacenamiento, señalándose por ejemplo que paltas con bajo contenido de aceite tienen una mayor duración en postcosecha que paltas con alto contenido de aceite. Si bien esto puede ser considerado válido al comparar paltas con contenidos de aceite muy distintos, hay un rango importante de fruta con contenidos de aceite donde no existe una relación directa con su potencial de almacenamiento. De acuerdo a lo observado, más que hablar de un contenido de aceite que determine un comportamiento, la edad fisiológica de la fruta (edad de la fruta desde cuaja a cosecha) sería una variable aún más importante en definir su duración en postcosecha. Lamentablemente por la dinámica de floración del palto caracterizado por un amplío período (1-2 meses), no es una variable fácil de medir a nivel de árbol. Si bien firmeza no es considerada por la mayoría de los productores/exportadores de palta, es otra variable que entregaría información al momento de cosecha.

5.7 ¿CUANTO ES LA INFLUENCIA DE CADA UNA DE ESTAS VARIABLES? ¿COMO PODEMOS INTEGRARLAS EN UNA MEDICIÓN?

Estas son dos preguntas que requieren un mayor trabajo dada su complejidad. Un paso importante lo constituye el desarrollo e incorporación de tecnologías no destructivas en su cuantificación. Por ejemplo, la disponibilidad de tecnología NIR ("near infrared" o rojo cercano) para cuantificación de agua y aceite es un paso importante, donde incluso en algunos casos ya es utilizado en forma comercial. Otro aspecto a considerar es el estudio del efecto de las variables de precosecha para predecir el comportamiento en postcosecha y que son cubiertas en los capítulos siguientes de este boletín.

¿Cuál es la importancia de la variabilidad de la fruta en manejo de postcosecha?. La respuesta es simple ya que al tener fruta heterogénea al inicio (huerto, caja, pallet o contenedor), tendremos un producto heterogéneo a nivel de recibidor o consumidor. Por lo tanto, al utilizar una tecnología de postcosecha para extender la vida de postcosecha de las paltas (atmósfera controlada o 1-MCP por ejemplo) tendremos que considerar como estamos afectando esta variabilidad pero no sólo considerando un atributo (como color), sino que todos los atributos que definen calidad y condición hasta el momento de que esa fruta llegue a consumo. Por ejemplo, al utilizar una tecnología que retrase el proceso de maduración podemos disminuir la variabilidad en cuanto a color de epidermis post almacenamiento, pero al mismo tiempo podríamos estar aumentando la heterogeneidad en los días en que las paltas se demoran en llegar a madurez de consumo, sobre todo si se utilizan con una edad fisiológica inadecuada.

5.8 CONCLUSIONES

Se observó una heterogeneidad durante postcosecha principalmente en firmeza y desarrollo de color en paltas provenientes de distintos huertos. Por lo tanto, el concepto de "tablero de ajedrez" no sólo es

atribuible a color externo sino que a cada variable de calidad. Por lo tanto, es importante considerar una integración de las variables de calidad y condición para definir una estrategia de manejo.

La heterogeneidad para ambos atributos aumenta a lo largo de almacenamiento refrigerado. Sin embargo, con periodos superiores a 35 días, el avance de maduración homogeniza ambos atributos pero en los rangos de fruta con menor potencial de comercialización.

En general, las variables de cosecha (materia seca, firmeza) no podrían predecir por sí solas el comportamiento de la fruta en almacenamiento y deben ser complementadas por las variables de precosecha.

Para solucionar dicho problema, se pretende desarrollar un procedimiento, a partir de indicadores a nivel de campo, que permitan predecir el comportamiento de la fruta en postcosecha, proveniente de diferentes condiciones de clima, suelo y manejo agronómico, todo ello a través de la aplicación de estadística multivariada, por el método de análisis de componentes principales (ACP) y regresiones por cuadrado mínimo parciales (PLS). La fuente de información para alimentar el modelo lo conformaron las bases de datos de registros de campo (factores de precosecha) y de postcosecha obtenidas de un año de levantamiento de 40 sitios previamente seleccionados distribuidos en los valles de La Ligua, Aconcagua, Petorca y Maipo.

PREDICTORES DEL COMPORTAMIENTO EN POSTCOSECHA DE LA PALTA, PROVENIENTE DE DIFERENTES CONDICIONES DE CLIMA, SUELO Y MANEJO

Raúl Ferreyra,
Ing. Agrónomo M.Sc.
Bruno Defilippi,
Ing. Agrónomo Ph.D.
Jorge Saavedra,
Ing. Alim. Dr.
Gabriel Sellés,
Ing. Agrónomo Dr.
Paula Robledo,
Ing. Agrónomo.
Mary Lu Arpaia,
Ph.D., USA.
Daniela Karlezi,
Ing. Agrónomo.
Jonathan Crane,
Ph.D., USA.
Bruce Schaffer,
Ph.D.,USA.
Pilar Gil,
Ing. Agrónomo Dr.

Chile exporta aproximadamente el 60% de su producción, enviando a EE.UU el 80%. Sin embargo, el creciente aumento de las plantaciones en Chile (39.303 has), más la amenaza de otros países productores (como México y Perú), prevén una disminución de precios y un sobrestock. Esto implica un aumento en las exigencias, en los mercados de destino. Arpaia (2003) en este sentido indica que la fruta chilena que llega a EE.UU presenta una gran variación en maduración dentro de una misma caja y/o pallet y por lo tanto es difícil predecir el tiempo de maduración, lo que dificulta su comercialización.

Según Ferreyra *et al*. (2007), los huertos en Chile se han plantado en una amplia gama de condiciones de suelo y clima, lo que junto a diferencias en el manejo del cultivo (riego, fertilización y poda, entre otros) son responsables en gran medida de la alta variabilidad de la fruta en postcosecha. A nivel de packing no se dispone de una máquina o estrategia que permita segregar la fruta de acuerdo a su potencial de vida

postcosecha. En otros frutales, como kiwi, cereza y manzanas, para disminuir esta variabilidad en los embarques, se han desarrollado relaciones entre indicadores a nivel de campo y la vida de postcosecha de la fruta.

Por lo anterior, INIA con financiamiento de INNOVA - CORFO ejecutó un proyecto que tenía como objetivo conocer el efecto de diferentes indicadores de precosecha sobre la vida de postcosecha de las fruta, de manera de disponer de un procedimiento e indicadores que permitan estimar el comportamiento de la fruta en postcosecha, proveniente de diferentes huertos.

Para ejecutar el trabajo fueron seleccionados 42 sitios plantados en diferentes condiciones de clima, topográficas y de suelo, de manera de poder relacionar condiciones de precosecha con la vida postcosecha de la fruta, a través de experimentos que simulan los envíos de fruta a mercados distantes.

La ubicación y selección de los sitios se llevó a cabo a través de Sistemas de Información Geográficos (SIG). Además, se utilizó para preseleccionar los sitios experimentales, los niveles foliares de Fe, Ca, Zn, B, N, K, vigor del árbol, edad y estrés hídrico, entre otros.

Los 42 sitios experimentales estuvieron conformados por seis plantas homogéneas de la variedad Hass sobre patrón mexícola, a las que se les midió Fe, Ca, Zn, B, N, K, en hoja (marzo) y en fruto (cosecha); porcentaje de brotes silépticos; nivel de clorofila en las hojas a través de SPAD; temperatura máxima media de enero; temperatura mínima media de julio; evapotranspiración potencial; altitud; exposición y nivel de estrés hídrico, entre otros.

Para evaluar la vida postcosecha de los distintos sitios, la fruta se almacenó en frío (4 a 5ºC) por 25; 35 y 45 días y posteriormente la fruta fue mantenida a 20ºC por un período que permitiera adquirir una firmeza de a 2 a 3 lbf. A la salida de frío y madurez se evaluó firmeza, color y desórdenes fisiológicos. Este trabajo se realizó durante tres temporadas (2009/10; 2010/11 y 2011/12).

Los datos recolectados durante las tres temporadas fueron analizados a través de diferentes procedimientos estadísticos. Como primer paso se depuraron variables a través de regresiones simples y análisis por componentes principales (PCA), el cual consiste en un método de explicación de varianza multivariante mediante algoritmo NIPALS. Este análisis se realizó con el programa SIMCA-P+ 12.01. Como segundo paso, se desarrollaron modelos predictivos a través de regresión multivariante de mínimos cuadrados parciales (PLS), que consisten en una correlación multivariante.

El PLS es un modelo soft mode link que no obedece al modelamiento tradicional y no requiere supuestos. El PLS es un modelo de correlación donde se buscan todas las posibles correlaciones entre la matriz X (variables de precosecha), Y (variables de calidad y condición de postcosecha) simultáneamente. Este modelo (PLS) resume todas las correlaciones simples más todas las posibles interacciones en un solo modelo de correlaciones multivariantes.

6.1 RELACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES INDICADORES DE VIDA ÚTIL DE LA FRUTA

Los indicadores de vida útil de la fruta estudiados fueron: firmeza de la fruta a la salida de almacenaje en frío (**Foto 6**); duración de la fruta en mostrador; porcentaje de fruta que la epidermis vira a negro, a la salida de almacenaje en frío (**Foto 7**) y porcentaje de fruta con pardeamiento de pulpa y vascular en mostrador. En la **Figura 23**, se puede observar la relación que existe entre la firmeza de la fruta a la salida de frío y los otros indicadores. Existe una muy alta relación entre la firmeza de la fruta y los días de duración en mostrador, lo que significa que estos indicadores de vida en postcosecha están afectados por parámetros fisiológicos similares, posiblemente características de la pared celular. El viraje a negro del color de la epidermis está relacionado con la firmeza pero en menor magnitud que los días de duración en mostrador. La fruta que tiene una mayor tendencia a virar de color su epidermis durante el almacenamiento en frío es la que tiene firmeza menores a 30 lbf y la fruta que presenta alguna posibilidad de tener pardeamiento

Foto 6. Medición de firmeza de la fruta.
(60 a 50 lbf = firmeza de la fruta a cosecha, 1 a 2 lbf = firmeza a consumo, la palta se puede moler y sobre 30 lbf a la salida de frío = es una adecuada firmeza para ser comercializada).

Foto 7. Viraje de color a negro de la epidermis a la salida de frío.
(En este estudio se consideró fruta virada a negro los niveles 4 y 5).

de pulpa y vascular es la que tiene firmeza inferior a 45 lbf. En un estudio realizado en Estados Unidos se determinó que los principales problemas a la llegada a puerto, son el ablandamiento de la fruta, seguido por antracnosis (Capelline *et al.*,1988). Esto coincide por lo reportado por Nelson *et al*. (2001) quien señala que el mayor problema de calidad en el palto Hass es el ablandamiento y pardeamiento de pulpa al momento de llegar a puerto.

Por lo indicado anteriormente, la firmeza de fruta es un muy buen indicador de la condición y vida útil de la fruta en postcosecha.

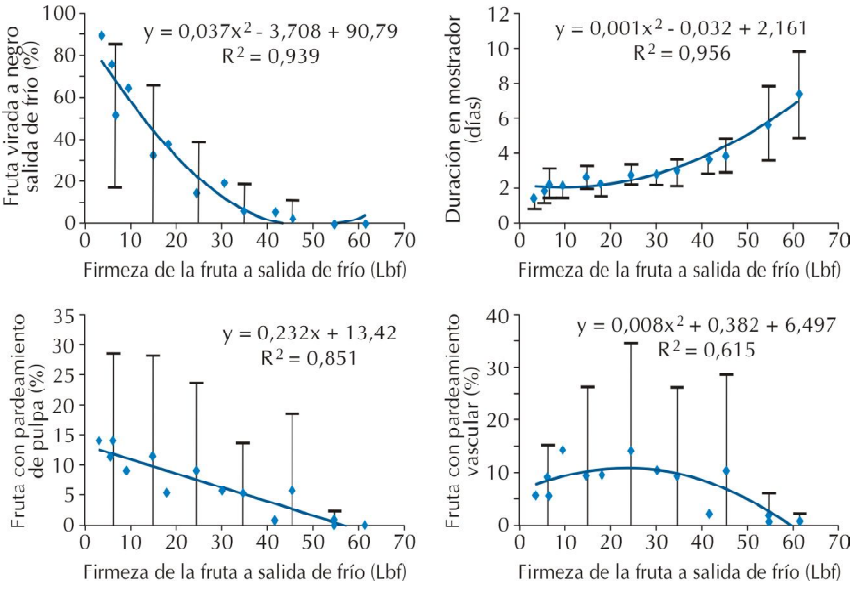


Figura 23. Relación entre la firmeza de la fruta a la salida de frío; viraje de color de la epidermis a la salida de frío y el pardeamiento de pulpa y vascular en mostrador.
(Los datos utilizados en este análisis son 366 puntos después de 35 días almacenado en frío entre 4 -5ºC y 366 puntos después de 45 días almacenado en frío entre 5ºC).

6.2 FACTORES DE PRECOSECHA QUE AFECTAN LA CALIDAD DE POSTCOSECHA DE LA PALTA

Es conocido que el comportamiento de la fruta en postcosecha es resultados de la combinatoria de la genética más el efecto del entorno. De esta manera se conforma una matriz multifactorial con numerosas interacciones que finalmente se reflejan en productividad y calidad. De esta manera, reconociendo que los procesos son de una complejidad significativa, en la cual los factores confluyen en diferentes maneras, la propuesta de este trabajo ha sido estudiar los diversos enfoques en forma secuencial de manera de ir dilucidando el nivel de aporte en las respuestas y en cierta manera jerarquizándolo. Por lo indicado an-

teriormente, a partir de la información generada y utilizando modelos predictivos (PLS), que consisten en una correlación multivariante se pudo conocer y jerarquizar los factores de precosecha que más afectan las calidad y condición de la fruta en postcosecha.

En la **Figura 24** (a y b), se presentan los modelos PLS desarrollados para predecir la firmeza de la fruta a la salida de frío (lbf) después de estar almacenada durante 35 y 45 días en frío (4-5ºC), lo cual simula una condición de viaje en barco a diferentes destinos.

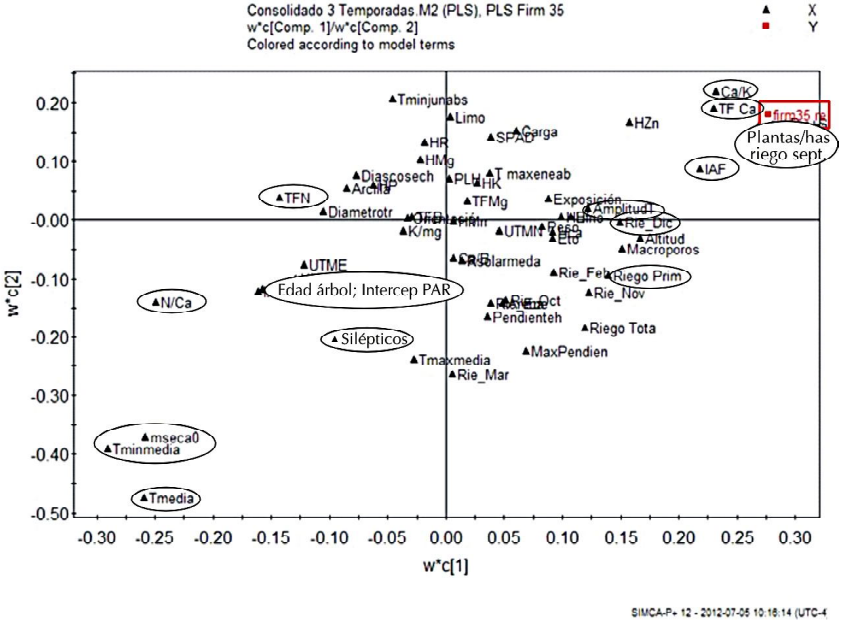


Figura 24 a. Modelo PLS desarrollado para predecir la firmeza que tendría la fruta después de estar 35 días almacenada en frío (4-5ºC).

Firm35= Firmeza de la fruta a la salida de frío después de estar 35 días almacenada a 5ºC Significancia R2y= 0,53; Explicación Q2 = 0,35 N = 366 en cada una de las tres temporadas.

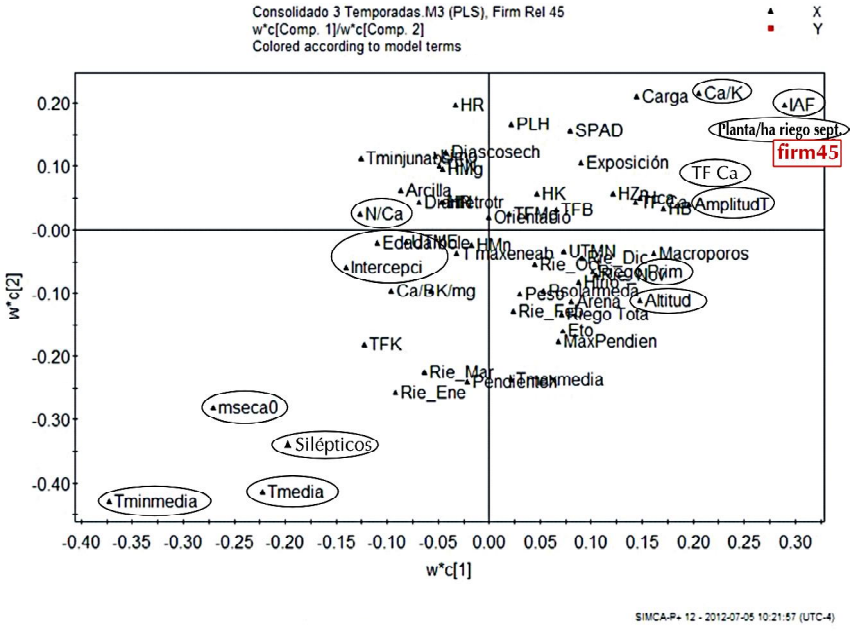


Figura 24 b. Modelo PLS desarrollado para predecir la firmeza que tendría la fruta después de estar 45 días almacenada en frío (4-5ºC).
Firm45= Firmeza de la fruta a la salida de frío después de estar 45 días almacenada a 5ºC.Significancia R2y= 0,44; Explicación Q2 = 0,27 N = 366 en cada una de las tres temporadas.

En este modelo se aprecia que los factores que más afectan la firmeza de la fruta en orden son: la materia seca de la fruta a cosecha (mseca0); la temperatura mínima media (Tminmedia); la cantidad de agua aplicada en primavera, septiembre (Agua septiembre); el índice de área foliar (IAF); la densidad de plantas por hectárea (plantporha); la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (intercepci); el porcentaje de brotes silépticos (silépticos); la amplitud térmica (amplitudT); la temperatura media (Tmedia); la altitud del huerto sobre el nivel del mar (altitud); la relación N/Ca que presenta la pulpa a cosecha (N/Ca); la concentración de Ca en la pulpa a la cosecha (TF Ca) y la relación Ca/K en la pulpa a la cosecha (Ca/K) (variables hacia los extremos del modelo PLS).

En general las variables "X" que están en el mismo cuadrante que la variable "Y", afectan en forma directa a la firmeza. Por el contrario, las variables "X" que están en el cuadrante contrario a la variable "Y" (firmeza) la afecta en forma inversa. Por lo cual, el modelo indica que a mayor nivel de calcio en la pulpa, mayor índice de área foliar, mayor densidad de plantas por hectárea, mayor altitud del huerto sobre el nivel del mar y mayor amplitud térmica, la fruta tendrá una mayor firmeza a la salida de frío. Por otra parte el modelo PLS indica que mientras mayor es la materia seca, la relación N/Ca que presenta la pulpa de la fruta a la cosecha, mayor porcentaje de brotes silépticos, mayor edad del huerto y paso a través del follaje la radiación fotosintéticamente activa (par), menor será la firmeza de la fruta a la salida de frío. En el caso de las temperaturas y agua aplicada en septiembre, los valores bajos como altos afectan la firmeza de la fruta a la salida de frío como se mostrará más adelante.

Los resultados de este trabajo concuerdan con lo informado por diferentes autores respecto al efecto del Ca; que es afectado por el exceso de vigor de los brotes durante el periodo de división celular (nitrógeno) y déficit o exceso de agua en primavera que afectan en transporte del calcio desde el suelo a los puntos de crecimiento, como se comentó en capítulos anteriores. En este trabajo también se observa que hay factores climáticos y de desarrollo de la canopia que están afectando la firmeza de la fruta y vida de la fruta en mostrador, como se observa Figura 24. Los factores de clima (temperaturas), nitrógeno, edad del árbol y altitud están determinando los días que la fruta demora en lograr los niveles de materia seca recomendados para la cosecha como se aprecia en el análisis PLS de la **Figura 25**, que junto con los niveles de aceites en la fruta (materia seca) a cosecha y edad del árbol están siendo un estimador de la edad de la fruta, la que a mayor edad presenta en general las paredes de sus células más deterioradas y por lo tanto tienen una vida en postcosecha más corta. Mientras más tiempo permanezca el fruto en el árbol, éste continúa su crecimiento, luego el contenido de algunos minerales decrece, lo que conlleva a una inestabilidad de la membrana celular lo que facilita desarrollo de desórdenes fisiológicos en postcosecha (McOine y Wolstenholme, 1982). Según Dixon *et al*. (2003), en una investigación realizada con palto Hass en Nueva Zelandia, la calidad de la fruta en postcosecha es inferior cuando es cosechada tarde en la temporada.

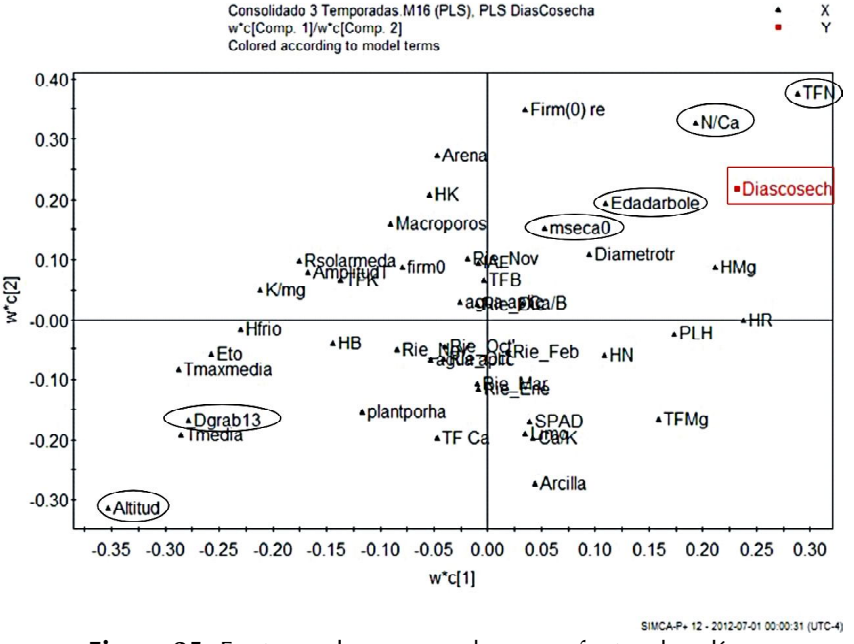


Figura 25. Factores de precosecha que afectan los días de floración a cosecha.

Diascosech= Nº de días entre floración a cosecha. Significancia R2y= 0,56; Explicación Q2 = 0,43 N = 366 en cada una de las tres temporadas.

Como se muestra en la Figura 24, el desarrollo de la canopia también es un factor importante en la condición y vida útil de la fruta en postcosecha, lo que podría estar relacionado con el nivel de carbohidratos en la fruta (fotosíntesis). Los carbohidratos son importantes en términos de calidad de la fruta, ya que se necesitan para la respiración y maduración normal (Tesfay, 2009). La cantidad de carbohidratos disponible para la respiración en el momento de la cosecha tendrá un impacto sobre la vida útil y posiblemente también en la calidad en términos de desórdenes fisiológicos, especialmente si la fruta se somete a largos períodos de baja temperatura, necesario para el envío a mercados distantes. El contenido de carbohidratos neto de la fruta a la cosecha depende la fotosíntesis y ésta del tamaño de la canopia, nutrición y suministro hídrico al árbol. Por lo cual hay que tener huertos con una adecuada canopia pero no con excesivo vigor en primavera, para lograr fruta de adecuada condición y vida útil en postcosecha.

En la **Figura 26**, se presenta un modelo conceptual donde se aprecian los factores que afectan la condición y vida útil de la fruta obtenidas en los análisis PLS.

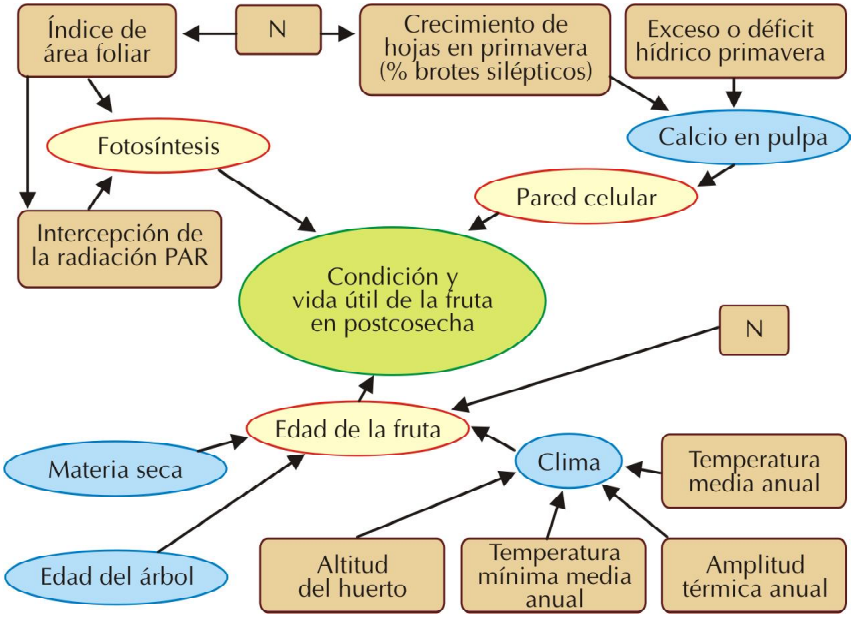


Figura 26. Modelo conceptual de los factores que afectan la firmeza; viraje de color de la epidermis de la fruta a la salida de frío y la vida de la fruta en mostrador.

La mayoría de los factores que afectan la firmeza a la salida de frío son los mismos que afectan tanto la vida de la fruta en mostrador como el viraje de color de la epidermis de la fruta salida de frío (**Figura 27**). En esta figura se presentan las variables "Y" firmeza; viraje de color de la epidermis de la fruta a la salida de frío y la vida de la fruta en mostrador en un mismo análisis PLS. Esto es concordante con la información mostrada en la Figura 23 donde se aprecia que existe una relación importante entre firmeza de la fruta, vida de la fruta en mostrador y viraje de color de la epidermis.

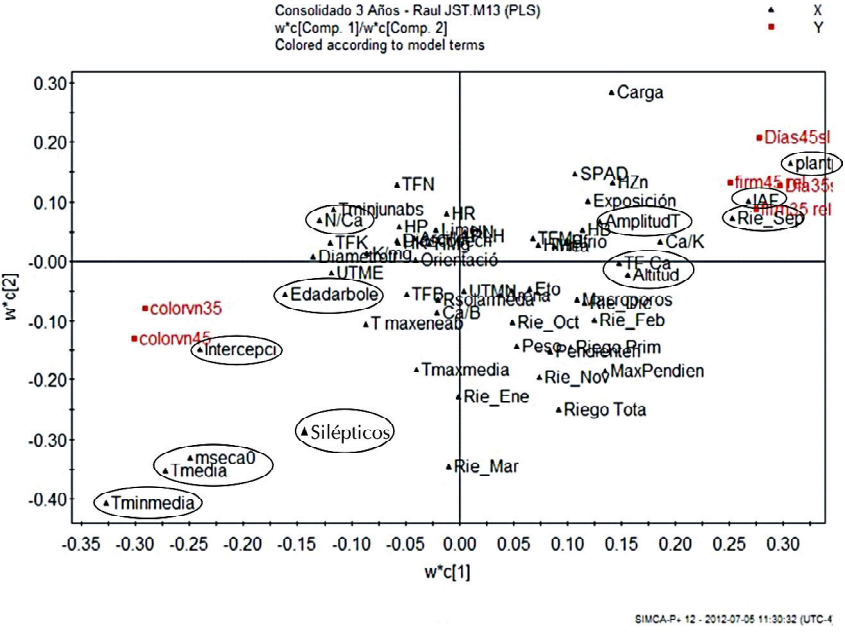


Figura 27. Modelo PLS desarrollado para predecir la firmeza, viraje de color de la epidermis de la fruta a la salida de frío y la vida de la fruta en mostrador que tendría la fruta después de estar 35 y 45 días almacenada en frío (4 - 5ºC).

Colorvnvb35 = viraje de color de la epidermis de la fruta a la salida de frío después de 35 días almacenada en frío); Colorvnvb45= viraje de color de la epidermis de la fruta a la salida de frío después de 45 días almacenada en frío, Dias35sl = vida de la fruta en mostrador después de estar 35 días almacenada en frío, Dias45sl = vida de la fruta en mostrador después de estar 45 días almacenada en frío. Firm35= Firmeza de la fruta a la salida de frío después de estar 35 días almacenada a 5ºC. Firm45= Firmeza de la fruta a la salida de frío después de estar 45 días almacenada a 5ºC. Significancia R2y= 0,44; Explicación Q2 = 0,31 N = 366 en cada una de las tres temporadas.

Respecto a los desórdenes fisiológicos, los modelos presentaron menores ajustes que para los otros indicadores de calidad y condición en postcosecha. Esto se puede deber a que el porcentaje de fruta que presentó desórdenes fisiológicos es bajo, por lo cual la muestra de fruta a analizar debiera ser mayor.

En la **Figura 28**, los factores que están incidiendo en orden de importancia sobre los desórdenes fisiológicos son: contenido de boro en la pulpa de la fruta a cosecha (TFB), déficit de riego en septiembre (Agua sep), altitud sobre el nivel del mar (altitud), número de días entre floración y cosecha (diascosech), contenido de potasio en pulpa a cosecha (TFK), número de frutos por árbol (Carga), materia seca de la fruta a cosecha (Mseca0), relación nitrógeno - calcio (N/Ca) en pulpa a cosecha y contenido de nitrógeno en pulpa a cosecha.

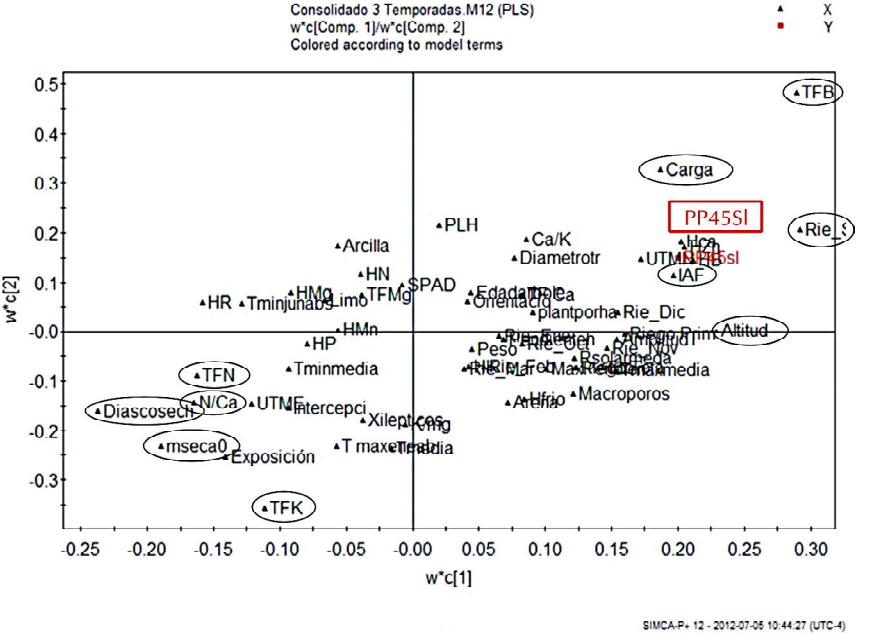


Figura 28. Modelo PLS desarrollado para predecir el pardeamiento de pulpa en mostrador después de estar 45 días almacenada en frío (4-5ºC).

PP45Sl = Porcentaje de fruta sin pardeamiento vascular en mostrador después de estar almacenada en frío 45 días. Significancia R2y= 0,33; Explicación Q2 = 0,19 N = 366 en cada una de las tres temporadas

El modelo indica que con un adecuado nivel de boro en la pulpa a cosecha, la fruta tendrá un menor pardeamiento de pulpa. Por otra parte, el modelo PLS indica que mientras mayor sea la materia seca, la relación N/Ca de pulpa a cosecha, el contenido de nitrógeno y potasio de pulpa a cosecha y el tiempo transcurrido entre floración y cosecha, mayor pardeamiento de pulpa puede presentar la fruta. En el caso del agua aplicada en septiembre, se puede indicar que los huertos que presentan valores extremos de estas variables (muy alto o bajo) presentan una mayor incidencia de pardeamiento de pulpa. De las variables estudiadas, los factores que más afectan el pardeamiento de pulpa son el contenido de boro en la pulpa de la fruta a cosecha, la fruta de cosecha muy tardía, fruta con alto porcentaje de materia seca, déficit o exceso de agua en septiembre (primavera) y altos niveles de nitrógeno en pulpa.

6.3 VALORES LÍMITES DE LOS FACTORES DE PRECOSECHA QUE AFECTAN LA CALIDAD Y CONDICIÓN DE POSTCOSECHA DE LA PALTA

Para definir la magnitud y el rango en que varían las diferentes variables independientes estudiadas, se realizaron regresiones simples de acuerdo a la metodología descrita por Jarvis (1976), el cual estudió fenómenos influidos por un gran número de variables, como es la conductancia estomática y la actividad fotosintética en los vegetales. Lo que este autor propone es que este tipo de fenómenos presentan un modelo de dispersión, llamada también nube de datos, señalando que para que se genere esta nube de datos, se requiere de un gran espectro de mediciones.

Este modelo de dispersión forma un límite superior relativamente claro y definible donde se concentran los casos que indican la respuesta a la variable estudiada, cuando las otras variables no son limitantes. Lo que se encuentra por debajo de este límite son variables dependientes que son influenciadas por otros factores y no necesariamente por la variable independiente estudiada.

En las **Figuras 29, 30** y **31** se presentan las regresiones realizadas para las variables más importantes detectadas en los análisis multivariantes con regresiones PLS. En todas ellas, se observa un modelo de dispersión formando un límite superior relativamente claro y definible. De estos análisis se obtuvieron valores límites, a partir de los cuales es posible segregar fruta de diferente vida útil en post cosecha. Los valores obtenidos antes indicados aparecen en el **Cuadro 2**.

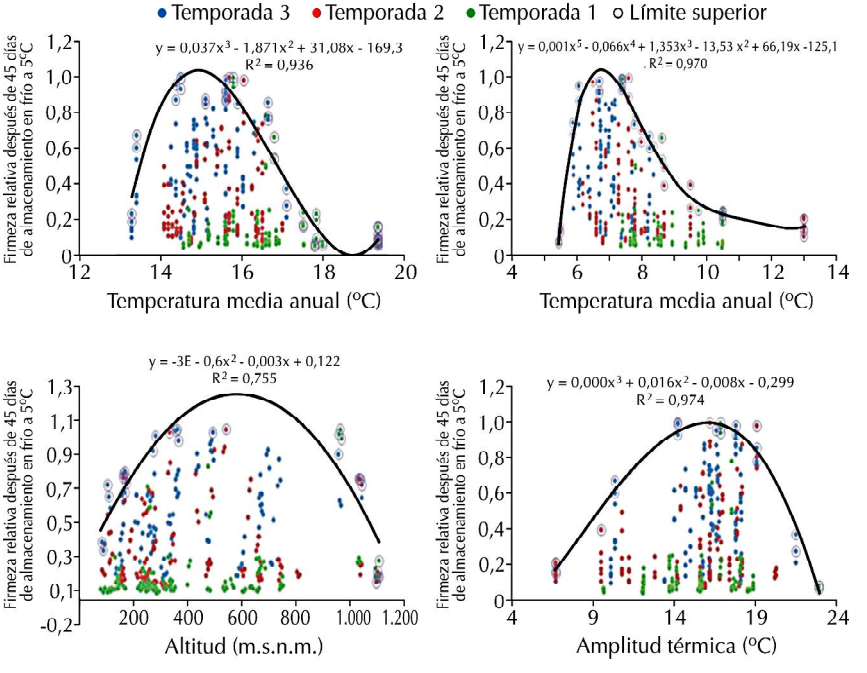


Figura 29. Regresiones simples de las variables climáticas que más afectan la calidad y condición de la fruta en postcosecha.

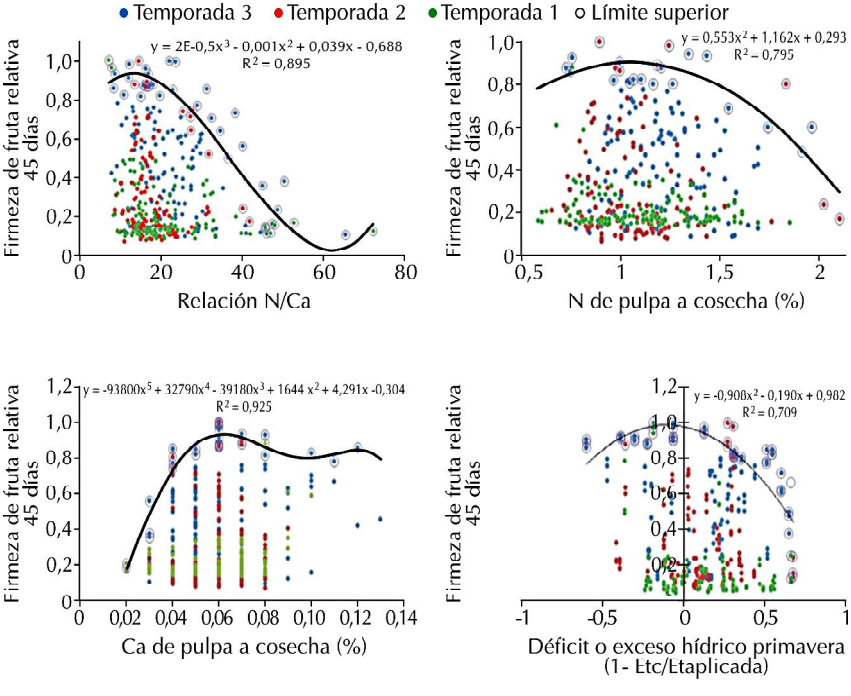


Figura 30. Regresiones simples de las variables nutricionales que más afectan la calidad y condición de la fruta en postcosecha.

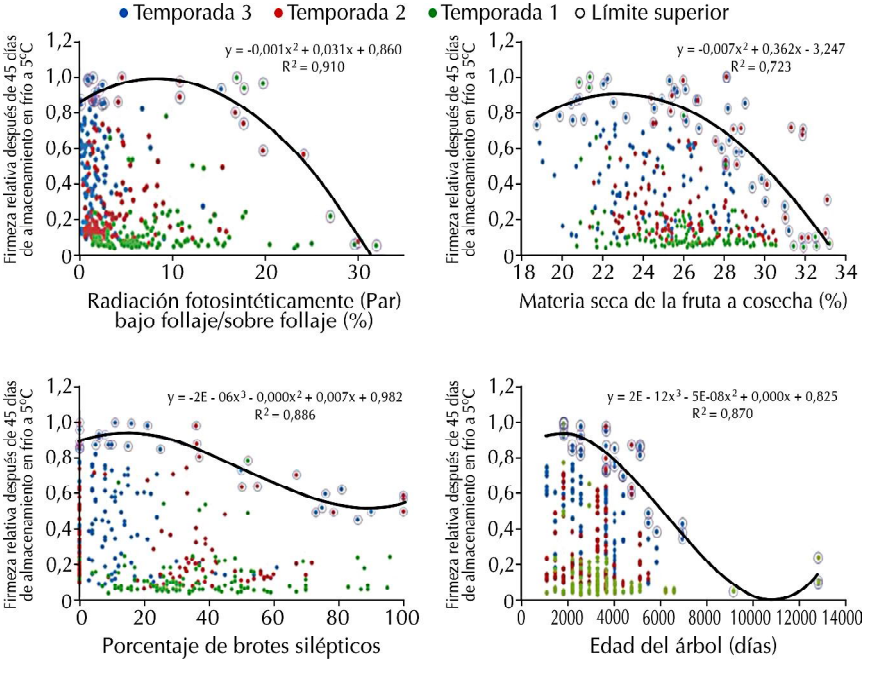


Figura 31. Regresiones simples entre la canopia, materia seca, edad del árbol y la firmeza de la fruta a la salida de frío.

Cuadro 2. Valores límites referenciales para seleccionar fruta de mejor condición y mayor vida útil de acuerdo a su importancia.

Indicadores/rangos	Riesgo alto	Riesgo bajo
Materia seca de la fruta a cosecha (%)	>27,5	<27,5
Temperatura mínima media (ºC)	<6 - >8	6 - 8
Déficit de agua aplicada en primavera (sep) (1 - agua aplicada/Etc)	>0,4	<0,4
Excesos de agua aplicada en primavera (sep) (1 - agua aplicada/Etc)	>0,35	<0,35
Intercepción radiación folaje (Par bajo/sobre follaje) %	>18	<18
Amplitud térmica ºC	<14 - >19	14 - 19
Temperatura media (ºC)	<14,5 - >16,5	14,5 - 16,5
Relación N/Ca a cosecha	>25	<25
Ca pulpa a cosecha (%)	<0,05	>0,05
Altitud (m.s.n.m)	<240 - >900	240 - 900
Período entre floración y cosecha (días)	>360	<360
N en pulpa a cosecha (%)	>1,1	<1,1
B en pulpa a cosecha (ppm)	<160	>160
Porcentaje de brotes silépticos (%)	>36	<36
Edad de los árboles (años)	>10	<10

La información reportada en el Cuadro 2, puede ser utilizada para estimar con antelación la condición y vida útil de la fruta en postcosecha, de acuerdo a número de variables en condición de alto riego y a su importancia. Los protocolos para segregar fruta debieran separarse por zonas. Las zonas de mayor complejidad son las de temperaturas medias, temperatura mínima media y altitud muy bajas o altas, donde hay que ser muy cuidadoso en el análisis de las otras variables que afectan la vida útil en postcosecha como la nutrición, estrés o déficit hídrico en primavera, canopia del huerto y materia seca de la fruta.

6.4 MODELO PARA PREDECIR LA CALIDAD Y CONDICIÓN DE POSTCOSECHA DE LA PALTA

Como se indicó anteriormente, a partir del análisis PLS se obtuvieron las variables de precosecha que afectan la condición y vida útil de la palta en postcosecha. Con las variables seleccionadas se generó un modelo de regresión múltiple Ridge para predecir el comportamiento en postcosecha de la fruta de palta (**Cuadro 3**). En esta oportunidad se presenta el modelo generado para predecir firmeza de la fruta a la salida de frío, variación de color de la epidermis a la salida de frío y la duración en mostrador de la fruta. En la **Figura 32**, se muestra en forma gráfica la predicción de los modelos presentados en el Cuadro 3.

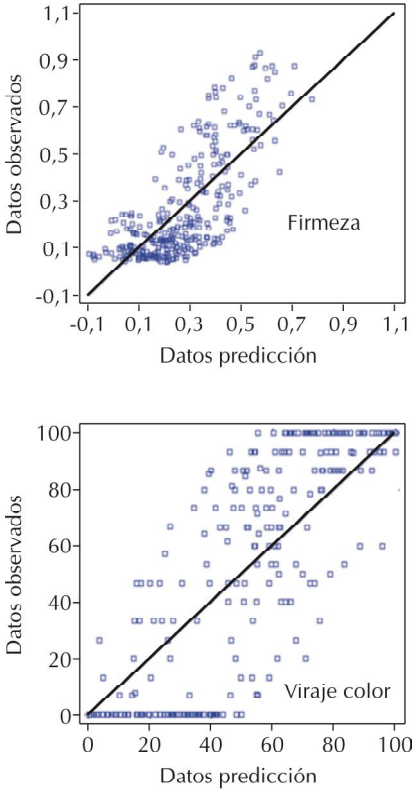


Figura 32. Se presentan la relación entre los datos observados después de 45 días almacenados en frío y la predicción realizada con el modelo de regresión múltiple Ridge.

Cuadro 3. Modelo de regresión múltiple Ridge para predecir el comportamiento de la firmeza de la fruta, viraje de color de la epidermis a la salida de frío y duración en mostrador de fruta almacenada por 45 días en frío (5ºC).

firm45 rel= 1.047 - 0.03617*Tminmedia + 0.0001651*plantporha - 0.01816*Tmedia - 0.01429*mseca0 - 0.002768*Intercepción + 0.03327*IAF + 0.1926*Rie_Sep + 0.3514*Ca/K - 0.001557*Silépticos + 0.4352*TF Ca + 0.04401*agua aplicada cuaja 100 días - 0.1457*agua aplicada total - 0.00007827*Altitud + 0.00001713*Edad árboles - 0.002857*N/Ca.

Este modelo presenta R2 = 54,2 %; R2 (ajustado por d.f.) = 52%; Error estándar de est = 0,16 y Error absoluto medio 0,12.

colorvn45= -35.08 - 47.93*agua aplicada cuaja 100 días + 94.11*agua aplicada total - 0.0001874*Altitud - 77.92*Ca/K - 0.006876*Edad árboles - 3.649*IAF + 2.171*Intercepción + 1.684*mseca0 - 0.2495*N/Ca - 0.06775*plantporha - 44.49*Riego_Sep - 167.9*TF Ca + 3.329*Tmedia + 6.264*Tminmedia + 0.2485*Silépticos.

Este modelo presenta R2 = 66,47 %; R2 (ajustado por d.f.) = 64,66 %; Error estándar de est = 24,3 y Error absoluto medio 19,4.

Días45sl= 6.094 + 0.3351*agua aplicada primavera - 0.8275*agua aplicada total + 0.0002207*Altitud - 0.02528*Ca/K + 0.000005272*Edad árboles + 0.08573*IAF - 0.02031*Intercepción - 0.0385*mseca0 - 0.006583*N/Ca + 0.001032*plantporha + 0.3119*Riego_Sep - 1.913*TF Ca - 0.1618*Tmedia - 0.08141*Tminmedia - 0.005635*Silépticos.

Este modelo presenta R2= 52,7 %; R2 (ajustado por d.f.)= 50,4%; Error estándar de est= 0,47 y Error absoluto medio 0,56.

Firm45 rel= firmeza relativa a la salida de frío 0 valor mínimo 1 valor máximo; colorvn= porcentaje de fruta verde a la salida de frío (%); Díassl= duración en mostrador (días) Agua aplicada primavera (agua aplicada período 100 días desde cuaja /Etc período); Agua aplicada total (agua aplicada total /Etc total); Altitud= altura del huerto sobre nivel del mar (m.s.n.m); Ca/K= relación Ca/K;edad árboles= edad de los árboles (días); IAF= índice de área foliar; intercepción= radiación fotosintéticamente activa bajo follaje/sobre follaje (%); mseca0 = materia seca (%); N/Ca= relación N/Ca; plantporha = número de plantas por hectárea; Riego_sep= Agua aplicada en septiembre (agua aplicada septiembre/Etc septiembre); TFCa= Calcio en pulpa (%); Tmedia = temperatura media anual (ºC); Tminmedia= temperatura mínima media anual (ºC); silépticos= brotes silépticos (%).

6.5 ÁREAS CON MEJORES CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA PRODUCIR FRUTA DE MEJOR VIDA POSTCOSECHA

Uno de los factores que está afectando la condición y vida útil de la fruta en postcosecha es el clima (Figura 26). Por lo cual es posible analizar a través de sistema de información geográfica (SIG) como se distribuyen las áreas de mejor condición y vida útil en postcosecha. En la **Figura 33**, se presenta un plano donde se observa cómo se distribuye espacialmente la fruta de mejor calidad en postcosecha. Se puede observar que en las zonas altas y muy bajas de los valles se concentra la fruta de menor condición y vida útil en postcosecha. Esto concuerda con la información presentada en la Figura 29 donde se relaciona el clima con la firmeza de la fruta a la salida de frío.

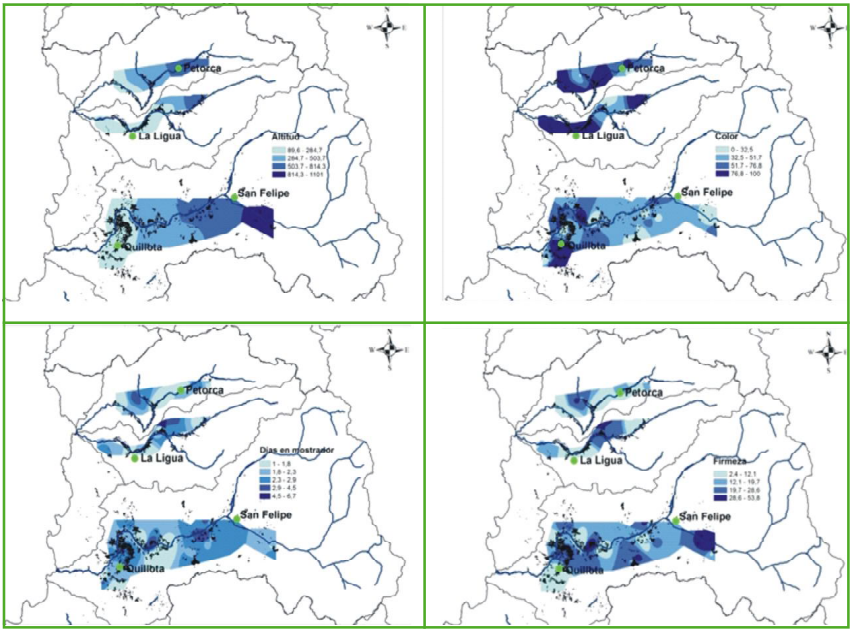


Figura 33. Distribución espacial de los indicadores de condición y vida útil de la palta en los Valles de Petorca, La Ligua y Aconcagua.

MANEJO DE LOS HUERTOS PARA OBTENCIÓN DE FRUTA DE CALIDAD

Raul Ferreyra,
Ing. Agrónomo, M.Sc.
Gabriel Sellés,
Ing. Agrónomo Dr.

Hay un número de factores de precosecha que pueden afectar a la calidad de postcosecha de frutos de palta. En términos de nutrición mineral y riego (manejo del agua) destacan una serie de factores. El calcio se sabe que es importante para la calidad del fruto y como tal se usa como un indicador de diagnóstico. Sin embargo, debido a que el movimiento del calcio dentro de la planta y especialmente el movimiento final en las células de la fruta debe ocurrir temprano en el desarrollo del fruto, no pueden ser fácilmente modificados por la aplicación de calcio, por lo cual son necesarios otros métodos indirectos para lograr aumentar su nivel en la fruta.

El vigor de las plantas y los patrones de crecimiento, así como el movimiento del agua dentro del árbol parecen ser críticos para alcanzar los niveles deseados de calcio. En términos de nutrición de las plantas, la aplicación de nitrógeno es el controlador principal del vigor del árbol. Por lo tanto, se necesita una especial atención en la oportunidad y la cantidad de aplicaciones de nitrógeno, teniendo en cuenta los niveles de nitrógeno en hojas, fruta y la carga frutal. Mientras que otros elementos no deben ser ignorados y se deben hacer una gama de análisis foliares estándar y todos los nutrientes ajustados de acuerdo a los resultados, el nitrógeno sigue siendo el elemento clave relacionado con el crecimiento de los árboles y la calidad de la fruta.

La nutrición debe estar dirigida a lograr una fructificación adecuada y con un crecimiento vegetativo de primavera limitado. Una vez que la cuaja está bien establecida y la división celular inicial completa, se debe estimular el desarrollo vegetativo de verano a través de aplicaciones de nitrógeno. Las hojas de esta brotación también contribuyen a la fructificación de la siguiente temporada.

La fruta debe madurar bien antes de la cosecha, a fin de contribuir a la acumulación de azúcar en la fruta, para obtener un máximo de azúcares C-7 antes de la cosecha, ya que éstos también contribuyen a la calidad de la fruta. Por lo cual hay que tener huertos con una adecuada canopia pero no con excesivo vigor en primavera. Para estos, es importante el manejo de la fertilización nitrogenada y tal vez el de los reguladores de crecimiento.

La falta de agua no debe ser un factor limitante durante todo el año, especialmente durante la división celular inicial de la fruta, para permitir una rápida división celular y al mismo tiempo una acumulación de calcio en fruta. Un segundo período de importancia en términos de relaciones hídricas es justo antes de la cosecha, donde cualquier escasez de agua provocará una maduración más lenta del fruto y una mayor susceptibilidad al daño por frío durante el almacenamiento y el transporte de la fruta. Sin embargo, la fruta no debe también estar excesivamente turgente al momento de cosecha (tal como ocurre inmediatamente después del riego). Con el fin de lograr este objetivo, se debe mantener una tensión de humedad del suelo de entre 35 kPa y 55 kPa siempre que sea posible o niveles de humedad entre un 40 a 50% del agua disponible total (ADT).

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MATERIA SECA EN PALTA HASS UTILIZANDO ESPECTRO INFRARROJO CERCANO (NIR)

Jorge Saavedra,
Ing. Alimentación Dr.
Raul Ferreyra,
Ing. Agrónomo M.Sc.
Bruno Defilippi,
Ing. Agrónomo Ph.D.
Daniela Karlezi,
Ing. Agrónomo.
Paula Robledo,
Ing. Agrónomo.

8.1. INTRODUCCIÓN

La espectroscopía infrarrojo cercana (NIR, por su sigla en inglés), se ha difundido profusamente en el último tiempo como un método no destructivo para la evaluación de firmeza, materia seca, sólidos solubles y acidez (Liu *et al.*, 2010, Bureau *et al.*, 2009, Nicolai *et al.*, 2007) y otras propiedades fisiológicas en un importante grupos de alimentos (Pizarro *et al.*, 2004, Garde-Cerdán *et al.*, 2012, Fassio *et al.*, 2009, Garde-Cerdán *et al.*, 2010) y frutas incluyendo manzana (Bobelyn *et al.*, 2010), naranja (Liu *et al.*,2010), durazno (Bureau *et al.*, 2009) y palta (Clark *et al.*,2003), entre otros.

El método NIR se basa en la relación entre la concentración de los componentes de la muestra, determinados según los métodos de referencia predefinidos y la absorción de luz a diferentes longitudes de onda en la región del infrarrojo cercano, ya sea medida por reflectancia

o transmisión, la que dependerá de las vibraciones de los enlaces moleculares al momento de la irradiación en las frecuencias NIR (Alishahi *et al.*,2010).

Uno de los elementos clave en el uso exitoso de la técnica NIR es la calibración entre dicho espectro y el valor real del analito medido. Esto conlleva una serie de pasos críticos requeridos, los que incluyen: selección de la muestra, obtención del espectro, pre-tratamiento de los datos, derivación del modelo de regresión y validación del modelo ajustado. De esta forma, a partir de un grupo limitado de muestras representativas y de las que se conoce la cantidad del componente o el valor de la propiedad a determinar, se establece el modelo que mejor describe (y predice) la relación entre ambos bloques de datos.

La calibración multivariante involucra la relación de dos matrices de datos: una matriz de variables independientes (en general definida como matriz X) y una matriz de variables dependientes (en general definida como matriz Y) a través de un análisis de regresión (Esbensen *et al.*, 2010). En el campo de la química, la calibración busca obtener una relación entre una respuesta instrumental y la cantidad de un componente o propiedad química que se desea medir. Dado que la mayoría de las respuestas instrumentales no son especificas, para el análisis de muestras complejas se debería recurrir a la aplicación de operaciones de enmascaramiento o separación. Este hecho implica en parte el gran desarrollo que han experimentado las técnicas espectroscópicas que permiten, una vez separado el analito, su determinación a partir de la medida de una propiedad general.

Dentro de los métodos de calibración destacan: la Regresión Lineal Multiple (MLR), la Regresión sobre Componentes Principales (PCR) y la Regresión sobre Mínimos Cuadrados Parciales (RPLS) (Martens and Martens, 2001).

Dentro las aplicaciones posibles de este tipo de métodos, destacan las relaciones de los índices de madurez. Un caso de alto interés comercial lo representa el caso de la palta (*Persea americana* Mill.), que durante su desarrollo en el árbol muestra un incremento en su contenido de aceite con una disminución en su porcentaje de humedad, lo que es

frecuentemente utilizado como índice de madurez. Cuevas (2007), señala que uno de los parámetros más utilizados para efectos de evaluar madurez comercial en palta, es precisamente el contenido de materia seca en el fruto, índice que varía entre el 19 y 25%, dependiendo del cultivo (Clark *et al.*, 2003).

La determinación del estado de madurez en base a los contenidos de materia seca y aceite, puede ser un proceso largo y costoso. Experimentalmente requiere de una metodología sofisticada para su cuantificación y además de ser un análisis destructivo. Por lo tanto existe una demanda por nuevas y rápidas técnicas para la determinación de materia seca en palta.

El objetivo de este artículo es presentar un estudio de los modelos de calibración multivariante de forma de predecir el nivel de materia seca en palta Hass, mediante la correlación con su espectro NIR.

8.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra fue recolectada y analizada en los laboratorios del Centro Regional de Investigación La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

8.3 MÉTODO NIR

El set de datos para el espectro NIR fue cuantificado en unidades de absorbancia, medido directamente sobre la superficie de la palta Hass. La parte de medición fue en el mismo plano, pero sobre lados opuestos del ecuador de la fruta. Para ello se utilizó un equipo NIR PHAZIR Rx (Polychromix, TM) portátil con lámpara de tungsteno (Reflectancia difusa) y una resolución de 12 nm. Incluye un rango espectral de 600 a 2400 nm. Por otra parte, el dispositivo cuenta con una librería de productos, el cual puede generar modelos nuevos a través de mediciones y procesamiento con software externo. En la **Foto 8**, se aprecia una toma de datos con el equipo NIR portátil.

Foto 8. Registro de datos en equipo NIR portátil.

8.4 MÉTODOS DE PRE-TRATAMIENTO

El uso adecuado de un método de pre-tratamiento puede minimizar la contribución del efecto de la autocorrelación presente en el espectro NIR y así mejorar la correlación entre las variables. Los tratamientos matemáticos más comúnmente utilizados son: derivada de 1 y 2 orden, *standard normal variate* (SNV), *multiplicative scatter correction* (MSC), *orthogonal signal correction* (OSC) y *baseline correction*, entre otros.

SNV es un método matemático de transformación del espectro usado para eliminar la variación y de corregir el efecto de dispersión. Para ello se aplica un centrado y escalado (desviación estándar) para cada valor del espectro (ecuación 1):

$$x_{i,\,cor} = (x_i - \bar{x}_i)/s_i \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Primera y Segunda derivada: La primera derivada del espectro es la pendiente de cada punto del espectro original, mientras que la segunda derivada es una medida de la curvatura de cada punto del espectro original. El efecto de la primera derivada usualmente es eliminar descompensaciones (offsets), mientras que el efecto de la segunda derivada implica, además, la eliminación de la línea base original. Para evitar el aumento de ruido, lo cual es consecuencia de la derivación, los espectros son suavizados mediante el algoritmo Savitzky-Golay, que en general corresponde al ajuste de una función polinómica de orden bajo (Erickson *et al.*, 2006).

MSC: corrige las diferencias en la dispersión de la luz entre las muestras antes de la calibración. El promedio del espectro $\bar{x}$ del conjunto de calibración es seleccionado como referencia. Cada espectro x_i es primero modelado según la ecuación 2.

$$x_i = a_i + b_i \bar{x} + e_i \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde ei, es el vector residual que representa la diferencia x entre y x_i, a_i y b_i son el intercepto y la pendiente respectivamente. El espectro corregido se determina según la ecuación 3 (Luypaert *et al.*, 2002).

$$s_i = (x_i - a_i)\, b_i \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

OSC: es usado como método de transformación para construir el modelo de regresión PLS del espectro. Este remueve la varianza de la matriz X que no está relacionada con la matriz de respuesta Y (utilizando factores ortogonales), la que podría perturbar el modelo de regresión. Para calcular cada componente de OSC es necesario la formación del primer vector de scores del componente principal de X. Este vector de puntuación t, actúa como un "vector precursor de corrección", la cual es ortogonal con respecto a Y para dar t*. Subsecuentemente, los pesos (w) del modelo PLS se calculan de tal forma que "X*w" llegue a ser lo más cercano posible a t*. La corrección del vector t* es mediante el algoritmo NIPALS a través de X para dar un actual vector t-score, el cual es nuevamente ortogonal con respecto a Y. Esta secuencia es iterada hasta que converge. Vale decir, que t* esta direccionado hacia el vector mayor el cual es ortogonal a Y, y que aún ofrece un buen moldeamiento y predicción de X.

Finalmente, luego de la convergencia, un vector p (*loadings*) es calculado donde t*p´ es restado a la matriz X. Así se pueden calcular nuevos componentes o factores en forma sucesiva (Erickson *et al.*, 2006).

Centrado y escalado: este método asegura que los resultados sean interpretados en términos de la variación real que presentan en torno a su promedio. Para efectos prácticos es recomendable que el set de datos sea centrado. Por otra parte, el escalamiento es una operación en la cual cada variable es dividida por una medida específica de dispersión

de la variable original. Usando la desviación estándar como medida de dispersión, la varianza para cada variable es 1.

Corrección de la línea base: es usada para ajustar los desplazamientos o descompensaciones (*offsets*) del espectro, ya sea ajustando los datos al punto mínimo o marcando una línea de corrección base sobre dos variables definidas.

8.4.1 Calibración PLS Y MLR

Los modelos de calibración utilizados corresponden a regresión multivariante de mínimos cuadrados parciales (PLS), el cual es un método para correlacionar dos matrices X e Y, mediante un modelo lineal. Este modelo posee una reconocida robustez estadística ya que es capaz de analizar datos con mucho "ruido", colinealidad e incluso con datos faltantes en la matriz (Erickson *et al.*, 2006). En algunas aplicaciones de datos analíticos, es necesario realizar un pre-tratamiento *a priori* al uso de una regresión PLS.

La significancia de los resultados entregados por los diferentes métodos de pre-procesamiento, fue comparada considerando algunos parámetros estadísticos tales como: la raíz media del error estándar de calibración (RMSEC), la raíz media del error estándar de predicción (RMSEP) y el coeficiente de determinación (R2) obtenidos con el modelo PLS, definidos según las ecuaciones 4 y 5.

$$RMSEC,\ RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{y}_i - y_i\right)^2} \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

$$R^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{y}_i - y_i\right)^2 \Big/ \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{y}_i - y_m\right)^2 \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde $\hat{y}_i$ es el valor de predicción de la primera observación, y_i es el valor medido de la primera observación, n es el número de observaciones en la calibración o set de predicción e y_m es el valor promedio de la calibración o set de predicción (Pizarro *et al.*, 2004).

Finalmente, para evaluar el modelo de calibración, se realizó una validación cruzada (full cross validation routine) y el parámetro estadístico calculado fue el error estándar de validación cruzada (SECV).

8.5 RESULTADOS

Perfil del Espectro

El espectro NIR fue medido en un intervalo de longitud de onda de 939,5 - 1788,6 nm. En la **Figura 34**, se puede ver que se presentaron peaks de mayor absorción a 970, 1190 y 1450 nm. Algunos autores señalan que a estas longitudes de onda el espectro es dominado por la absorción de las bandas de OH del agua (Nicolai *et al.*, 2007, Bereau *et al.*, 2009 y Lui *et al.*, 2010). Por otra parte, debido a las diferencias o rugosidad que presenta la superficie de la palta, la medición puede resultar difusa, lo que podría producir un efecto de dispersión y una expansión en el intervalo de absorbancia para una longitud de onda individual.

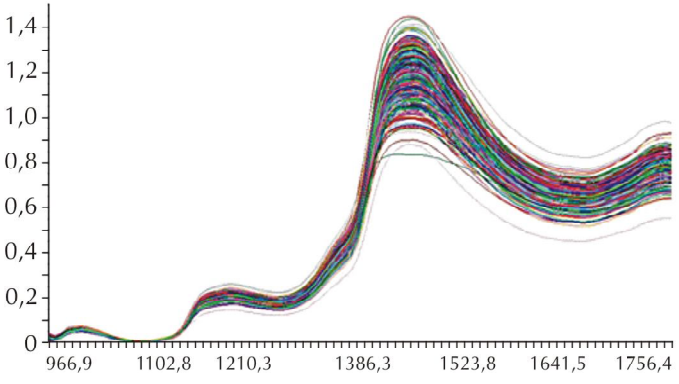


Figura 34. Espectro NIR de palta Hass para predicción de contenido de materia seca.

Predicción del contenido de materia seca

Los 7 tipos de pre-tratamientos aplicados previamente, indicaron que los métodos de primera y segunda derivada Savitzky-Golay o NorrisGolay, *baseline* y centrado-escalado no removieron todo el desplazamiento causado por el efecto de dispersión, sino que éstos son solo reducidos en algunas regiones del espectro. Estos resultados se resumen en los **Cuadro 3** y **4**.

Cuadro 3. Parámetros estadísticos para la calibración y validación del contenido de materia seca en palta Hass usando regresión PLS.

Pre-tratamiento	Factor	RMSEC	RMSEP	R2Y (%)
Datos originales	6	3,00	3,09	23,57
Centrado-escalado+Baseline	7	1,04	1,06	39,69
S.Golay 1ª derivada	6	0,81	0,84	38,33
S.Golay 2ª derivada	5	0,82	0,86	35,32
Norris Gap 1ª derivada	6	0,80	0,84	37,76
Norris Gap 2ª derivada	6	0,79	0,83	40,05
Centrado-escalado+Baseline+OSC	2	0,02	0,02	99,96

Cuadro 4. Parámetros estadísticos para la calibración y validación del contenido de materia seca en palta Hass usando regresión MLR.

Pre-tratamiento	RMSEC	RMSEP	R2Y (%)
Centrado-escalado+Baseline+OSC	0,50	0,65	68,54

Acorde a los resultados presentados en el Cuadro 3, los métodos basados en la primera y segunda derivada, ya sea Norris Gap o Savitzky Golay, resultaron ser muy similares. Ambos modelos PLS en promedio ajustaron 37,86 % de varianza explicada con 5 a 6 factores, un rango entre 0,820-0,789 y 0,856-0,831 para RMSEC y RMSEP, respectivamente, lo cual indica que estos modelos no fueron adecuados para predecir la materia seca. Además, al ser comparados con los datos originales, el aumento en el ajuste no fue relevante.

Por otra parte, el modelo de calibración PLS usando pre-tratamiento centrado y escalado mas baseline, ajustó un 39,69 % de varianza explicada con 7 componentes principales. Sin embargo, la calibración PLS construida sobre el set de datos filtrados con centrado - escalado + Baseline + OSC, fue el modelo más robusto dado que presentó un buen ajuste (R2Y = 99,96%), alta capacidad de predicción y un bajo error de predicción (0,022 RMSEP). Por lo tanto, la disminución en la magnitud del error de predicción comparado con el modelo original resultó ser importante (3,09 - 0,02 RMSEP).

Considerando los resultados obtenidos por el modelo MLR (Cuadro 4) después de aplicar centrado-escalado+Baseline + OSC al set de datos original, se observó que éste fue el segundo modelo que entrega un alto valor de predicción (R2Y= 65,54%), no obstante, dada la conformación del modelo MLR (incapaz de filtrar el ruido), este valor podría estar arrojando un ajuste que mezcle poca señal y ruido de fondo.

Schmilovitch *et al.*, (2001), obtuvieron modelos de calibración con valores de 0,9 y 1,3 RMSEP, para 'Ettienger' y 'Fuerte' respectivamente, cuyo contenido de materia seca estaban en el rango de 14-24%. Al comparar estos valores de RMSEP con los obtenidos en la presente investigación, se puede ver que difieren en magnitud (0,9 y 1,4 % v/s 0,02 RMSEP), siendo este último considerablemente mejor, pese a que la rugosidad y el grosor de la cáscara podrían producir un efecto adverso, tal y como ya se comentó. Por su parte, Clark *et al.* (2003) reportan valores de 1,8% RMSEP en modelos de calibración de palta Hass con contenido de materia seca entre 20 a 45%.

Modelos PLS Y MLR

Se puede indicar que los modelos en general mejoraron su capacidad de predicción respecto de aquellos obtenidos usando las variables sin pre-tratamiento y considerando todo el espectro de longitud de onda. En la **Figura 35**, se pueden ver las proyecciones de las matrices de score y loading obtenidas para la predicción de materia seca en palta.

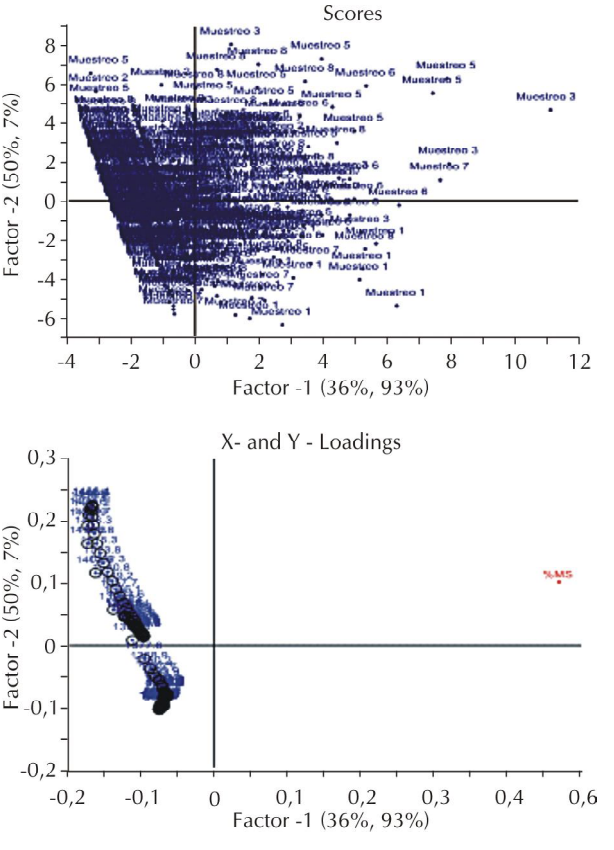


Figura 35. Matriz- score y loading obtenidas de la calibración PLS para predecir materia seca.

En el modelo de regresión PLS, la matriz de score representa las coordenadas de las muestras a lo largo de los componentes principales del modelo, mostrando la dispersión del conjunto de observaciones en la matriz X o Y. Por otro lado, la matriz de loadings muestra las relaciones de cada variable de X o Y respecto de las otras en función de los factores extraídos. Como se puede apreciar en la Figura 35, los resultados mostraron que el primer factor explicó un 93% de la variabilidad total, mientras que el segundo factor explicó un 3%.

El modelo de calibración multivariante MLR, presentó valores más bajos de R2Y en comparación con el modelo PLS, cuando el set de datos fue filtrado con el mismo pre-tratamiento. La **Figura 36**, muestra los resultados que fueron obtenidos en la correlación entre los valores predichos y los de referencia para la variable materia seca.

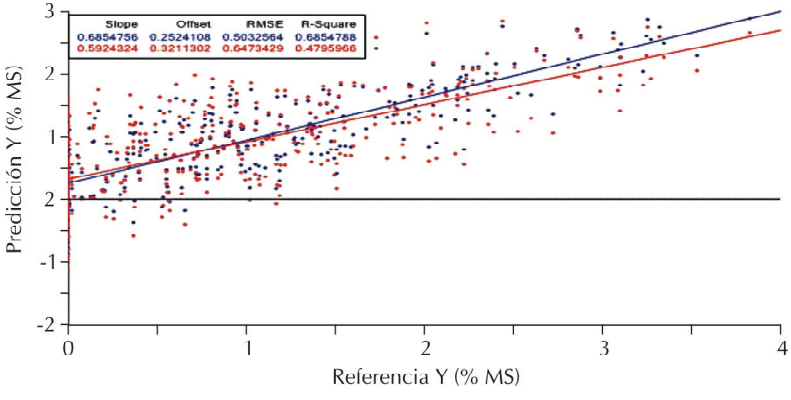


Figura 36. Modelo de calibración MLR para predecir materia seca en palta.

Es importante destacar que dadas dos matrices X e Y (con rango completo), es posible utilizar un modelo de regresión múltiple del tipo MLR. Sin embargo, cuando el número de predictores es superior al número de observaciones, es probable que dicho método de regresión ya no presente el mismo desempeño estadístico, producto de la multicolinealidad y la falta de grados de libertad para lograr el ajuste. A este respecto, los modelos de calibración multivariante PLS, dada la ortogonalización, son capaces de filtrar dicha colinealidad y además permiten la descomposición simultánea de X e Y, de tal forma que los factores ajustan y explican el máximo de variabilidad explicada, filtrando el ruido.

Según Ericsson *et al*. (2006) una diferencia entre los valores R2 Y ajustados y predichos mayor a 0,2 - 0,3 indica la presencia en el modelo de términos irrelevantes. Como se puede ver en la Figura 36, la diferencia entre dichos valores fue 0,21, lo que podría ser un indicador que el modelo no fue del todo adecuado.

8.6 CONCLUSIÓN

El método NIR considerando longitudes de onda del rango 940- 1790 nm, aparece como una buena opción para predecir con una alta precisión el contenido de materia seca en frutos de palta Hass, en forma no-destructiva.

Los modelos de calibración PLS que presentaron mejores ajustes fueron los pre-procesados con centrado - escalado + baseline + OSC.

Bibliografía

Alishahi A., Farahmand H., Prieto N. and Cozzoline D.2010. Identification of transgenic foods using NIR spectroscopy: A review. Spectrochimica Acta, Part A 75, 1-7.

Anguiano-Contreras, J. Coria-Avalos, V. M. Ruíz-Corral, J.A. Chávez-León, G. Alcántar-Rocillo, J.J. 2003. Caracterización Edáfica y Climática del área Productora de Aguacate *Persea americana* cv. "Hass" en Michoacán, México. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. 323-328.

Arpaia, M. 1990. Estándares para paltas en California. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Curso Internacional Viña del Mar, 2 al 5 de Octubre 1990. Pp N1 - N5

Arpaia M. L., G. W. Witney, G. S. Bender, J. L. Meyer, and D.S. Stottlemyer. 1995. Observations on the response of 'Hass' avocado to diferential fertilizer treatments. Pp113. *In*: Abstracts World Avocado Congress III, Tel Aviv, Israel.

Arpaia M.L., Smilanick J., Margosan D., Woolf A., White A. 2003. Avocado postharvest quality. Proceedings of the California Avocado Research. Symposium: 125-139. California Avocado Commission.

Arpaia, M.L. 2004. Las prácticas culturales influyen sobre la calidad de la fruta en post cosecha. Pp 1-10. *In*: Arpaia, M., Van Rooyen, Z., Bower J. P., Hofman, P. J. and Woolf, A.B. 2º Seminario Internacional de Paltos. Quillota, Chile 29 Septiembre 1 Octubre, 2004. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.

Atkinson, D., Jackson, J.E., Sharples, R.O. and Walker, W.M. 1980. Symposium on Mineral Nutrition and Fruit Quality of Temerate Zone Fruit Tres. Butterworth, Kent 435pp.

Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 29 rev. 1. Roma. Italia.

Bangerth, F. 1974. Hypobaric storage of vegetables. Acta Hort. 38:23-28 Bangerth, F. 1974. Hypobaric storage of vegetables. Acta Hort. 38:23-28

Bangerth, F. (1976) A role for auxin and auxin transport inhibitors on the Ca content of artificially induced parthenocarpic fruits. Physiol. Plantarum 37: 191-194.

Barrientos, V. 1993. Efecto de distintas concentraciones de gases (CO_2 y O_2) en la conservacion de palta cv. Fuerte. Universidad de Chile. Esc. de Agronomia. PI: Santiago, 1993, 74 p.

Barrera, C. Ferreyra, R. Ruiz, R, Septiembre- Octubre 2006. Nutrición y Fertilización del palto. Tierra Adentro, Especial Paltos.

Battey, N.H. 1990. Calcium deficiency disorders of fruit and vegetables. Postharvest News and Information 1: 23-27.

Berger, H. 1996. Nuevas opciones en el manejo de fruta después de cosecha. En: Cultivo del palto y perspectivas de mercado. Publicaciones Misceláneas Agrícolas Nº45. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 123p.

Bertling, I. and BOWER, J.P. 2005. Sugars as energy sources - is there a link to avocado fruit quality? South African Avocado Growers Association Yearbook 28: 24-27.

Blakey, R.J., Bower, J.P. and Bertling, I. 2009. Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the prediction of water content using near infrared spectroscopy. Postharvest Biology and Technology 53: 72-76.

Bobelyn E., Serban A.S., Nicu M., LammertynJ.,Nicolai B.M. and Saeys W. 2010. Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: Study of the effect of biological variability on spectra and model performance. Postharvest Biology and Technology, 55,133-143.

Bonilla, I. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. *In*: Azcón, J. y Talón, M. eds. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid. Mc Graw-Hill. pp 83-97.

Bower, J.P., Wolstenholme, B.N. and De Jager, J.M. 1978. Incoming solar radiation and internal water status as stress factors in avocado (*Persea americana* Mill.) cv Edranol. Crop Production 7: 129-133.

Bower, J.P. 1985. Some aspects of water relations on avocado (*Persea americana* Mill.) tree and fruit physiology. Ph.D. Thesis, University of Natal, South Africa.

Bower, J.P. Cutting, J.G.M. and Van Lelyveld, L.J. 1986. Long-term irrigation regime as influencing avocado abscisic acid content and quality. South African Avocado Growers Association Yearbook 9: 43-45.

Bower, J.P. 1987. The calcium accumulation pattern in avocado fruit as influenced by long-term irrigation regime. South African Avocado Growers association Yearbook 10: 97-99.

Bower, J. P. and Cutting, J.G.M. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews 10: 229-271.

Bower, J.P. and Magwaza, L.S. 2004. Effect of coatings and packaging on external and internal quality with emphasis on "cold injury". South African Avocado Growers Association Yearbook 27: 51-55.

Bureau S., Ruiz D., Reich M., Gouble B., Bertrand D., Audergon J.M. and Renard C. 2009.Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy.FoodChemistry, 113, 1323-1328.

Carrillo, C. 1991. Almacenaje de frutos de palto (*Persea americana* Mill.) cv Fuerte en atmósfera controlada.

Cajuste, B.J.F.; Saucedo V.C; Colinas L, Ma. T. 1994. Comportamiento postcosecha aguacate cv Hass en función de la época de corte. Revista Fito Ciencia Mexicana 17(1):94-102.

Clark C.J., McGlone V.A., Requejo C., White A. and Woolf A.B. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, 29, 300-307.

Connor, A.M., Luby, J.J. and Hancock, J.F. 2002. Changes in fruit antioxidant activity amoung blueberry cultivars during cold-temperature storage. Journal of Agricultural Food Chemistry 50: 893-898.

Conway, W.S., Sams, C.E., McGuire, R.G. and Kelman, A. 1992. Calcium treatments of apples and potatoes to reduce postharvest decay. Plant Disease76: 329-334.

Cuevas M. 2007. Influencia del manejo y condiciones adafoclimáticas sobre la calidad del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. 'Semil 34' en República Dominicana Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) 2007. ISBN Nº 978-956-17-0413-8. Viña del Mar.

Cutting, J.G.M. and Bower, J.P. 1989. The relationship between basipetal auxin transport and calcium allocation in vegetative and reproductive flushes in avocado. Scientia Horticulturae 41: 27-34.

Cutting, J.G.M, Wolstenholme, B.N. and Hardy, J. 1992. Increasing relative maturity alters the base mineral composition and phenolic concentration of avocado fruit. Journal of Horticultural Science 67: 761-768.

Chaplin, G. and Scott, J. 1980. Association of Calcium in Chilling Injury Susceptibility of Stored Avocados. HortScience. 15(4)514-515.

Dixon, J. Pak, H., Mandemaker, A.J., Smith, D.B. and Elmsly, T.A., Cutting, Jonathan G.M. 2003. Fruit age management: the key to successful long distance export of New Zealand avocados.

Du Plessis y Koen, 1988. The effect of N and K Fertilisation on Yield and Fruit Size of Valencia. Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, Nelspruit, 1200. Republic of South Africa.

Erikson L., Johanson E., Kettaneh-Wold N., Trygg J., Wikstrom C. and Wolds, S. (2006). Multi-and megavariate data analysis; Basic Principles and Enlarged edition. Umetrics.Sweeden, 97-242.

Emblenton, T. W. and Jones, W.W. (1964) Avocado nutrition in California. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 77, 401-405.

Esbensen *et al.*, 2010 Esbensen, A. J., Bishop, S. L., Seltzer, M. M., Greenberg, J. S., & Taylor, J. L. (2010). Comparisons between individuals with autism spectrum disorders and individuals with Down syndrome in adulthood. American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities, 115, 277-290.

Ferguson, I.B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. Plant, Cell and Environment 7: 477-489.

Ferreyra, R., Peralta, J. M., Sadzawka, M. A., Muñoz, C. y Valenzuela, J. 2001. Efecto de la Acidificación del Sustrato y del Agua de Riego en la Nutrición, Desarrollo y Producción de Arándano.

Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei Reade*). Agricultura Técnica, Chile. 61(4): 453-458.

Ferreyra, R., Selles, G., Maldonado, P., Celedón, J., Torres, A. 2005. Efecto de la Macroporosidad y Atmósfera del Suelo en el Estado Hídrico del Palto. 56º Congreso Agronómico de Chile. Octubre 11-14, 2005. Chillán. Chile.

Ferreyra, E., R.; Sellés, van Sch. (ed.) 2007. Manejo del Riego y Suelo en Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 160. 120 p.

Fassio A., Feranández E.G., Restaino E.A., Manna A. and Cossolino D. 2009. Predicting the nutritive value of high moisture grain corn by near infrared reflectance spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture, 67, 59-63.

Garde-Cerdán T., Lorenzo C., Alonso G.L. and Salinas M.R. 2010. Employment od near infrared spectroscopy to determine oak volatile compuonds and ethylphenols in aged red wines. Food Chemistry , 119, 823-828.

Garde-Cerdán T., Lorenzo C., Zalacain A., Alonso G.L. and Salinas M.R. 2012. Using near infrared spectroscopy to determine haloanisoles and halophenols in barrel aged red wines. LWT-FoodScience and Technology, Article in press, 1-5.

Gil M, Pilar Macarena. 1999. Desfase en la época de floración del palto (*Persea americana* Mill. cv. Hass, mediante aspersión de sales minerales al follaje. Universidad Católica de Valparaíso. Fac. de Agronomía. Quillota, 1999, 94p.

Hofman, P. Vuthapanich, S. Whiley, A. Klieber, A. Simos, D. 2002. Tree yield and fruit minerals concentrations influence "Hass" avocado fruit quality. Scientia Hortoculturae 92 (2002) 113-123p.

Jarvis, P.G.1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field Phil. Trans. R. Soc. London. B. 273: 593-610.

Koen, T.J., Du Plessis, S.F. and Terblanche, J.H. 1990. Nutritional factors involved in physiological postharvest fruit disorders of avocados cv. Fuerte. Acta Horticulturae 275: 543-550.

Liu, X., Robinson, P.W., Madore, M.A., Witney, G.W. and Arpaia, M.L. 1999. 'Hass' avocado carbohydrate fluctuations. I. Growth and phenology. Journal of the American Society for Horticultural Science 124: 671-675.

Liu, X., Sievert, J., Arpaia, M.L. and Madore, M.A. 2002. Postulated physiological roles of the seven carbon sugars, mannoheptulose and perseitol in avocado. Journal of the American society for Horticultural Science 127: 108-114

Liu Y., Sun., andOuyang A. 2010. Nondestructive measurement of soluble solid content of navel orange fruit by visible-NIR spectrometric technique with PLSR and PCA-BPNN.LWT FoodScience and Technology, 43, 602-607.

Lahav, E. and Kadman, A. (1980). Avocado Fertilization. Bulletin of the International Potash Institute, Nº6. Worblaufen-Bern, Switzerland.

Lahav, E, Bar, Y. and Kalmar. 1990. Effect of nitrogenous fertilization on the annual variations in nutrients in avocado leaves. Soil Science and Plant Analysis 21: 1353-1365.

Lovatt, C. J. 2000. Nitrogen fertilization strategies to increase yield of Hass avocado. Pp. 95-99. California Avocado Research Symposium. October 14. California, EEUU.

Luypaert J., Heuerding S., Jong S. and Massart D. 2002. An evaluation of direct orthogonal signal correction and other preprocessing methods for the classification of clinical study lots of a dermatology cream. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 30, 453-466.

Marques, J.R. 2002."Hass" avocado frruit quality: the role of fruit minerals and rootstocks. Unpublished PhD thesis, Massey University, New Zealand.

McOnie, A.J. and Wolstenholme, B. N. 1982. Avocado fruit growth and maturity in two natal localities. Department of horticultural science, university of natal. South African Avocado Growers' Association Yearbook 1982. 5:76-77.

Meyer, M.D. and Terry, L.A. 2010. Fatty acid and sugar composition of avocado, cv Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. Food Chemistry 121: 1203-1210.

Muñoz, D. 2004. Desarrollo de una metodología de muestreo para la medición de aceite en palta (*Persea americana* Mill.) en dos cultivares. Taller de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, 2004. 46p.

Newett, S.D.E., Crane, J.H. y Balerdi, C.F. 2007. Cultivares y Portainjertos. Pp 155-175. *In*: AW Whiley, B Schaffer and BN Wolstenholme (eds): El Palto. Botánica, Producción y Usos. CABI PublishingWallingford (Ed), U.K. 364p.

Nicolai B.M., Beullens K., Bobelyn E., Peirs A., Saeys W., Theron K.I. and Lammertyn J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectrospy: A review. PostharvestBiology and Technology, 46, 99-118.

Paz, V. R. 1987. Control de calidad del aguacate en post cosecha. Pp. 339-353. *In*: Memorias del Primer Curso Fitosanitario y de Nutrición en aguacate. Asociación Nacional de Egresados. Facultad de Agro Biología. Uruapan, Michoacán, México.

Penter M. G., Snijder, B., Stassen, Piet J.C., Schafer, E. 2000. The effect of growth inhibitors on fruit production in Hass avocado trees.

Penter, M.G., Snijder, B. and Kritzinger, M. 2001. The use of calcium for fruit quality improvement in Pinkerton avocados. South African Avocado Growers Association Yearbook 24: 25-28.

Pizarro C., Esteban-Díez I., Nistal A. and González-Sáiz J.M. 2004. Influence of data pre-processing on the quantitative determination of the ash content and lipids in roasted coffee by near infrared spectroscopy. AanalyticaChimicaActa, 509,217-227.

Schmilovitch Z., Hoffman A., Egozi H., El-Batzri R. and Degani C. 2001.Determination of avocado maturity by near-infrared spectrometry. Acta Horticulture, 562, 175-179.

Poovaiah, B.W., Glenn, G.M. and Reddy, A.S.N. 1988. Calcium and fruit softening: physiology and biochemistry. Horticultutal Reviews 10, 107-152.

Razeto, B. 1993. La Nutrición Mineral de los Frutales, Deficiencias y Excesos. SOQUIMICH, Santiago. Chile. 96p.

Snijder, B., Penter, M.G., Mathumbu, J.M. and Kruger, K.F. 2002. Further refinement of 'Pinkerton' export parameters. South African Avocado Growers Association Yearbook 25: 50-53.

Snijder, B., Mathumbu, J.M and Kruger, F.J. 2003. Development of fruit maturity and mineral content norms for export avocado cultivars from different South African avocado growing regions. South African Avocado Growers Association Yearbook 26: 51-54.

Smith, T. E.; Asher, C. J.; Stepheson, R. A. and S.E. Hetherington. 1997. Boron Deficiency of Avocado 2. Effects on Fruit Size and Ripening. *In*: Bell, R. W. and Rerkasem, B. (eds. 9 Boron in soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp.131-137.

Tesfay, S.Z. 2009. Special carbohydrates of avocado - their function as "sources of energy" and "antioxidants". PhD Thesis, University of KwaZulu-Natal, South Africa.

Tesfay, S.Z., Bertling, I. and Bower, J.P., 2010. Anti-oxidant levels in various tissues during the maturation of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). Journal of Horticultural Science and Biotechnology 85: 106-112.

Thompson A, K. 2010. Harvest and Pre harvest factors. pp 43-44. *In:* Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables. 2nd (Ed). CABI. Wallingford, UK. 272p.

Thorp, T. Grant, Hutching, D., Lowe, T., Marsh, K.B. 1997. Survey of fruit mineral concentrations and postharvest quality of New Zealand-grown 'Hass' avocado *Persea americana* Mill. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 1997, Vol. 25: 251-260.

Van Rooyen, Z. 2005. Factors affecting mesocarp discolouration severity in 'Pinkerton' avocados (*Persea americana* Mill.). 2005. PhD Thesis, University of Kwazulu-Natal, South Africa.

Van Rooyen, Z. and Bower, J.P. 2003. The role of fruit mineral composition, phenolic concentration and polyphenol oxidase activity on mesocarp discoloration in 'Pinkerton'. South African Avocado Growers Association Yearbook 26: 72-82.

Van Rooyen, Z. and Bower, J.P. 2005. The role of fruit mineral composition on fruit softness and mesocarp discoloration in 'Pinkerton' avocado (*Persea americana* Mill.) Journal of Horticultural Science and Biotechnology 80: 793-799.

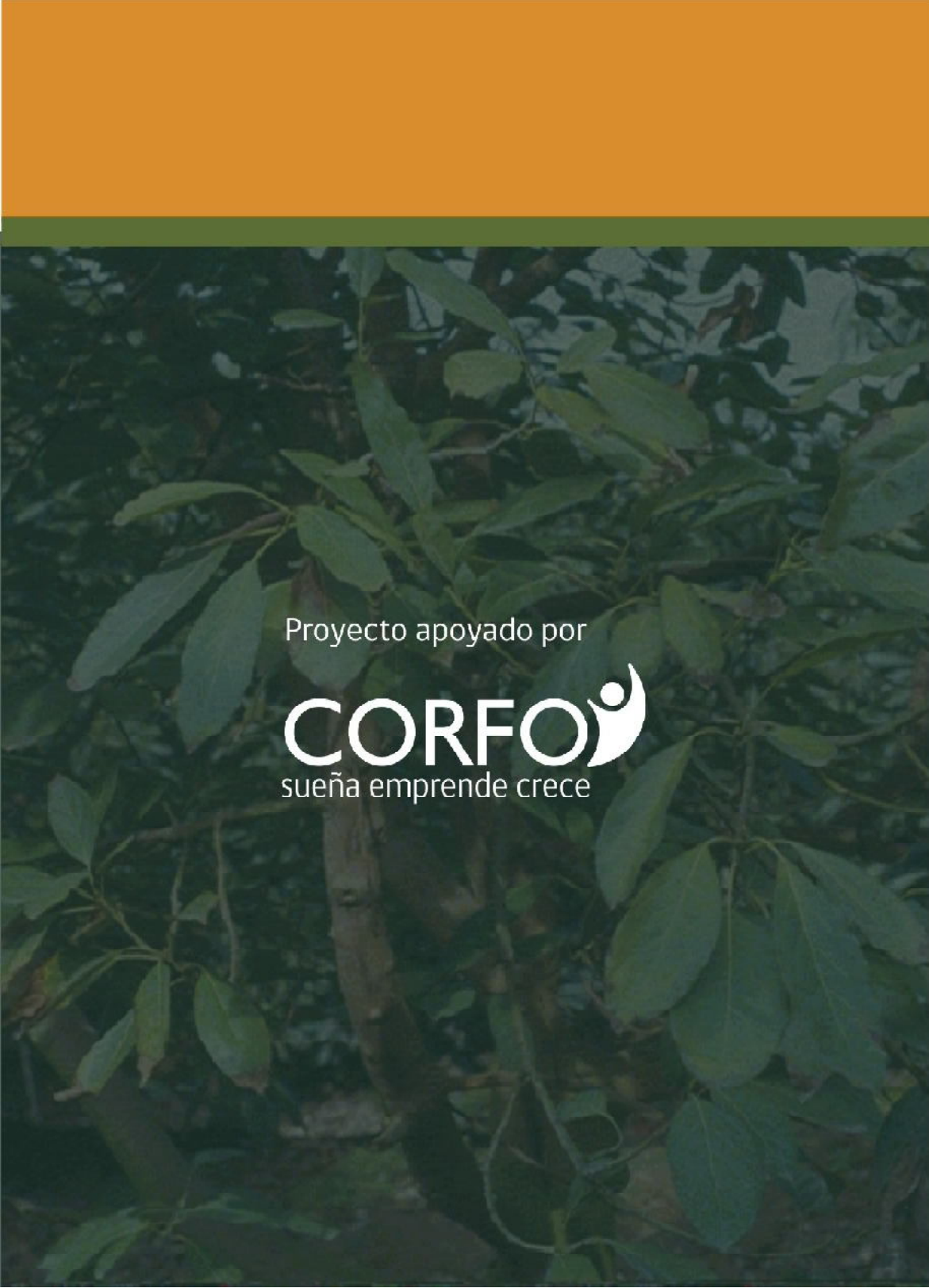
Whiley, A.W., Smith, T.E., Saranah, J.B. and Wolstenholme, B.N. 1996. Boron nutrition of avocados. Talking Avocados, 7(2), 12-15.

Whiley, A. 2001. Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. Australian & Zealand Avocado Growers Conference 2001 Bundaberg, Queensland, Australia, 3rd june to 7th june, 2001

Witney, G.W., Hofman, P.J. and Wolstenholme, B.N. 1990. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. Scientia Horticulturae 44: 279-291.

Wolstenholme, B. 1986. Energy costs of fruiting as a yield limiting factor. Acta Horticulturae 175: 121-126.

Wolstenholme, B. 1999. Aspects of avocado nutrition with emphasis on Boron and Organic mulching.


Proyecto apoyado por
CORFO
sueña emprende crece

Se agradese el apoyo en la realización de este proyecto a:

CREAS

COMITE DE PALTAS CHILE

SantaCruz

CTEP
CENTRO DE TRANSFERENCIA Y EXTENSIÓN DEL PALTO

Proyecto apoyad

CORF

sueña emprende