

Evaluación de métodos no destructivos para la detección de la madurez en Mangos:

Revisión bibliográfica e identificación de las necesidades de investigación a futuro¹

D.C. Slaughter
Biological and Agricultural Engineering
University of California, Davis
January 2009

1 Resumen

Una revisión bibliográfica sobre métodos no destructivos, para la evaluación objetiva de la madurez en frutos de mango fue conducida. La mayor parte de la investigación conducida en este tema ha implicado cultivares que no se encuentran en el mercado de los E.E.U.U actualmente. Existe un número de tecnologías prometedoras para la evaluación no destructiva de la madurez en mango. Se proponen futuros temas de investigación, para responder a las necesidades del desarrollo de métodos no destructivos para la evaluación objetiva de la madurez en mangos, con énfasis en los cultivares que se encuentran actualmente en el mercado de los EE.UU. (e.j., Ataulfo, Haden, Keitt, Kent, y Tommy Atkins).

2 Madurez a la Cosecha y Madurez de Consumo

La condición de la fruta a la hora de la cosecha tiene un efecto importante en el nivel de satisfacción del consumidor al momento de consumición. Mientras muchos consumidores utilizan los términos madurez a la cosecha y madurez de consumo alternativamente para describir el estado de una fruta cuando esta lista para su consumo, Reid (2002) observa que los productores de fruta y los tecnólogos en postcosecha de productos hortícolas consideran que estos términos tienen significados distintos. Reid indica que el término maduro es mejor descrito por la definición de diccionario del Webster

Madurez de cosecha: “habiendo culminado el crecimiento y el desarrollo natural.”

Reid elabora además que el término maduro describe el momento de cosecha que asegura que la calidad de fruta satisfaga o exceda el nivel mínimo aceptable por el consumidor al momento de ser consumida. En un fruto climatérico, como el mango, la fruta no se considera de calidad optima para el consumo al momento de madurez, pero requiere un período de maduración (típicamente 8 a 10 días a 25 °C; Lakshminarayana, 1980) antes de que logre el gusto y la textura

¹ Traducido al español por Maria E. Gonzalez.

deseados a la hora de la consumición. En este contexto, el término maduro es mejor descrito por la definición del diccionario Webster

Madurez de consumo: “habiendo logrado un estado final o deseado.”

Es importante por lo tanto conocer la etapa en la madurez de la fruta para determinar el momento de cosecha, dado que fruta cosechada inmadura no podrá alcanzar un nivel de calidad aceptable para los consumidores. La clasificación según el estado de madurez de mangos cosechados realizada en la planta de empaque puede eliminar los mangos verde inmaduros y separar frutos parcialmente maduros de aquellos maduros, de manera de mejorar la uniformidad en la maduración de la fruta de los lotes en su destino. Es importante también conocer la etapa en su madurez fisiológica para determinar la estrategia óptima de postcosecha para el manejo y comercialización de la fruta.

Hay cinco cultivares principales de mango en el mercado de los E.E.U.U. (“Ataulfo”, “Haden”, “Kent”, “Keitt”, y “Tommy Atkins”). La mayoría de mangos en el mercado de los E.E.U.U son importados. Dicha fruta pasa típicamente varios días en tránsito desde su país de producción hasta su mercado de destino en los E.E.U.U. Como en la mayoría de las frutas, la pulpa del mango se ablanda a medida que este madura, y de manera de prevenir daño mecánico, la fruta blanda requiere una manipulación más cuidadosa que la fruta firme. Para asegurar que la comercialización de los mangos sea exitosa utilizando empaquetados y métodos de manipulación convencional en postcosecha, los mangos destinados para la importación dentro de los E.E.U.U. se cosechan en su etapa verde maduro, que aun es firme. La fruta es madurada entonces por el comerciante, minorista, o consumidor una vez que llega a los E.E.U.U. (Kader y Mitcham, 2008). Una bandeja de tipo suspendida, para el transporte de la fruta ya madura, desarrollada en la Universidad de California Davis (UC Davis) (Thompson et al., 2008), podría permitir la cosecha del mango en una etapa más madura o parcialmente más madura si los tiempos de transporte no son excesivamente largos.

El nivel de madurez de la fruta al momento de cosecha es crítico para el desarrollo de buena calidad de sabor cuando completamente madura (Kader, 2008), por lo tanto es importante que los cosechadores dispongan de métodos efectivos para la determinación de la madurez de los mangos. Desafortunadamente, la aparición de color rojo en la piel en algunos cultivares no es confiable. De la misma manera, el cambio en el color de fondo de la piel (el punto más verde en la fruta) de verde oscuro a verde claro o amarillo no es confiable debido a las variaciones entre cultivares. Las diferencias en el color de fondo entre fruta inmadura y verde madura pueden ser sutiles. Un número de índices de madurez alternativos han sido estudiados en mangos.

Los índices de la madurez para el mango incluyen:

- número de días después de la plena floración,
- color de la pulpa,
- forma de la fruta (la “plenitud” de las mejillas o de los hombros),
- tamaño de la fruta,
- color de la piel,
- contenido de sólidos solubles,

- contenido de almidón,
- gravedad específica (el cociente de la densidad del mango a la densidad del agua),
- acidez titulable, y
- contenido de sólidos (materia seca) totales.

Las diferencias entre cultivares y las diferencias en las condiciones de crecimiento del cultivo pueden afectar el funcionamiento y la consistencia de muchos de estos índices, y mientras que actualmente no hay consenso en el índice de madurez óptimo para el mango, Kader (2008) observo que el color de la pulpa tiene la performance mas consistente a traves de los cultivares. Kader concluyo que el desarrollo de un sensor no destructivo de el color de la pulpa, permitiría mejorar el entrenamiento de las cuadrillas de cosecha de manera de reconocer un atributo externo (como la forma de la fruta) asociado a los niveles mínimos de maduración en el huerto.

3 Métodos no destructivos para la evaluación de la calidad de fruta

Se han desarrollado un número de métodos para la determinación no destructiva de la calidad de fruta, y varias revisiones bibliográficas de estas tecnologías están disponibles (Abbott et al., 1997, Abbott, 1999, Butz et al., 2005, y Chen 1996). Lo que sigue a continuación es una lista de las características de la fruta para las cuales métodos no destructivos para la determinación de la madurez o de la calidad de fruta han sido evaluadas o están comercialmente disponibles para el mango. Esta revisión bibliográfica se centrará en el aroma, el color, la composición, y la firmeza del fruto puesto que estudios de investigación en estos métodos ya se han publicado. Los métodos restantes están disponibles por fabricantes comerciales y están enumerados en el Apéndice.

- Aroma
- Color
- Composición
- Defectos
- Firmeza
- Forma
- Tamaño
- Gravedad específica (o densidad)

3.1 *Métodos no destructivos para predecir madurez y madurez de consumo (ripeness)*

3.1.1. Aroma

A medida que la fruta madura, la concentración de compuestos volátiles incrementa. La liberación de volátiles, es lo que los consumidores huelen al comer la fruta madura,

contribuyendo al disfrute de la misma. Los compuestos volátiles también pueden ser producidos cuando la fruta es sujeta a daño mecánico, daño por calor, enfermedad o patógenos. El perfil aromático de una fruta puede ser medido en forma no destructiva colocando la fruta en un envase sellado, tal como un envase de vidrio o una bolsa plástica. Los volátiles se pueden analizar en el laboratorio usando cromatografía de gases y espectroscopia de masas (CG/MS). En la década pasada la versión de un dispositivo llamado nariz electrónica (“enose”) se ha desarrollado para la identificación de volátiles en el control de la calidad e identificación de olores en ambientes fuera de laboratorio. El uso de la nariz electrónica para monitorizar la maduración ha sido demostrada por investigadores en un número de frutas incluyendo la manzana (Brezmes et al., 2001), el plátano (Llobet et al., 1999), el arándano (Simon et al., 1996), la uva (Patterson, 2007), el mandarín (Gómez et al., 2007), el durazno (Benedetti et al., 2008), y el tomate (Gómez et al., 2006). La tecnología de la nariz electrónica también se ha utilizado para detectar defectos en frutas (tales como daño por frío en naranja, Tan et al., 2005; daño mecánico en la manzana, Li et al., 2007; y daño mecánico en el arándano, Simon et al., 1996). Si bien las mediciones obtenidas con la nariz electrónica son no destructivas, no son aplicables para los usos en línea debido al tiempo que se requiere para que los volátiles se acumulen en el envase, y al tiempo necesario para tomar la medición (generalmente varios minutos). Una descripción detallada de la tecnología utilizada en la nariz electrónica ha sido publicada por Gardner y Bartlett (1999). Röck et al. (2008) publicaron una revisión reciente del estado actual de la tecnología.

Un número de investigadores han estudiado los volátiles emitidos por distintos cultivares de mango (Ackerman et al., 1984; Bender et al., 2000; MacLeod y Pieris, 1984; MacLeod y Snyder, 1985; Malundo et al., 1996). Salim et al. (2005) clasificaron mangos “Harumanis” en distintas categorías (inmaduro, maduro, y sobremaduro) utilizando la nariz electrónica. En un estudio preliminar basado en un número reducido de mangos “Keitt” y “Kent” Lebrun et al. (2008) evaluaron la capacidad de una nariz electrónica de mesada de laboratorio (modelo FOX 4000, Alpha MOS, Toulouse, Francia) para distinguir entre cinco tamaños diversos (de peso) en mangos “verdes”. En este estudio mangos enteros e intactos fueron puestos después de la cosecha en envases plásticos sellados por 3 horas de manera de permitir que los volátiles se acumularan en los envases. La nariz electrónica pudo distinguir entre los volátiles de las 5 categorías de mangos “Keitt” que se encontraban en el espacio de cabeza, y entre 3 de las 5 categorías de mangos “Kent”. La nariz electrónica pudo también distinguir entre los volátiles presentes en el espacio libre de mangos maduros “Kent” y “Keitt”. Mientras que el tamaño de la fruta es un índice poco específico para medir madurez y la nariz electrónica utilizada en este estudio no era portable, los resultados sugieren que una nariz electrónica portable (de mano) podría ser útil como herramienta no destructiva para determinar la madurez de los mangos en el árbol. Para conducir un estudio más completo de la madurez de los mangos en todos los cultivares presentes en el mercado de los E.E.U.U., y para desarrollar una técnica para la estandarización del instrumento que permita un método confiable y de fácil de calibración en el campo, aun se necesita de más investigación.

3.1.2 Color

El aspecto visual es uno de los factores principales utilizados por el consumidor al momento de comprar el producto. El color es una parte importante del aspecto visual y se utiliza en muchos

estándares de clasificación como criterio de calidad. El color es la percepción visual humana de la luz reflejada, transmitida, o emitida de un objeto en la porción visible del espectro electromagnético entre 380nm y 780nm. En objetos opacos como la fruta, la mayor parte de la energía lumínica que toca una fruta, solo penetra la superficie en una distancia muy pequeña y después se refleja lejos de la superficie. El factor principal en la distribución de la energía lumínica reflejada de la fruta, es la presencia y la concentración de pigmentos incluyendo los carotenoides, antocianinas y flavonoides, betalinas, y clorofilas presentes en la piel (Gross, 1987; Mazza y Miniati, 1993). Los cambios en estos pigmentos a medida que el fruto se desarrolla afectan la percepción del color de la fruta y por lo tanto el color de la fruta se utiliza con frecuencia como índice de madurez o de la madurez de consumo.

El aspecto del color en la apariencia visual de la piel se puede medir en forma no destructiva usando tres tipos de sensores: colorímetros, espectrofotómetros, y sistemas de visión en máquinas del color. Los colorímetros son instrumentos diseñados para cuantificar el color en términos de percepción humana. Los colorímetros son instrumentos de banda ancha que dividen generalmente la información del espectro visible en tres componentes similares a las células rojas, verdes y azules del cono en el ojo humano. Los espectrofotómetros se diseñan para proporcionar una información más detallada sobre las características ópticas de la muestra, dividiendo típicamente la información del espectro visible en quince o más componentes. Los colorímetros y los espectrofotómetros son diseñados para dar una sola lectura promedio sobre un área de la muestra que se extiende típicamente entre 5 y 25 milímetros en diámetro. Para la implementación en sistemas en línea o cuando información mas detallada del color es necesaria, como en el análisis espacial a través de una superficie de dos dimensiones, un instrumento de sistema de visión es típicamente utilizado.

Uno de los primeros colorímetros desarrollados fue el medidor de la diferencia del color (Color Different Meter) desarrollado por Richard Hunter en 1948 (Hunter, 1948). Hunter desarrolló un tri estímulo del espacio del color llamado L, a, b para simular la percepción humana del color humana. El espacio L, a, b del color se basa en la teoría opuesta del color a la percepción humana del color, desarrollada por Hering en 1872 en donde la percepción es una función de las señales de los bastones y conos en el ojo que se procesan en una manera antagónica con tres canales opuestos: negro versus blanco (valor Hunter L), rojo versus verde (valor Hunter a), y el azul versus el amarillo (valor Hunter b). Muchos otros sistemas del color se han desarrollado desde 1948, pero el sistema Hunter L, a, b fue uno de los primeros utilizado en alimentos y es comúnmente utilizado en estudios de investigación para medir madurez o defectos en muchos productos incluyendo el mango.

3.1.2.1. Mediciones no destructivas del color de piel en mango

Malevski et al. (1977) encontraron que el color de la piel de mango medido con un colorímetro en un sitio arbitrariamente seleccionado en la fruta era un índice de madurez no confiable en mangos “Haden”. Sin embargo, se encontró que la coloración roja máxima o amarilla en la piel de mangos “Haden” si predijo la madurez, en donde el 33% de la fruta con valores Hunter b < a 16 y el 22% de la fruta con valores Hunter a < 0 al momento de cosecha lograron madurar.

Jha et al. (2005, 2006, y 2007) utilizaron un espectrofotómetro portable para medir el color promedio de la piel y el espectro de la reflectancia de la piel de mango “Dashehari” a partir de medidas individuales tomadas en el ápice y en la base del pedúnculo del fruto durante la cosecha. Cosecharon la fruta cada 2 días comenzando a fines de mayo o principios de junio hasta que la fruta comenzó a madurar en el árbol. Luego que las medidas ópticas, no destructivas, fueran tomadas, midieron el contenido de sólidos solubles y la firmeza de la fruta con el penetrómetro de fruta. Modelos de regresión lineal fueron desarrollados para predecir el contenido de sólidos solubles en la cosecha utilizando valores Hunter a y b ($r^2=0.83$) o empleando valores de reflectancia entre 440 y 480 nanómetros (la porción azul del espectro visible, $r^2=0.8$). Dichos investigadores también pudieron desarrollar un modelo para predecir ($r^2=0.8$) la firmeza media obtenida con el penetrómetro al momento de la cosecha utilizando la reflectancia en la porción verde del espectro visible (530 a 550 NM).

Ornelas-Paz et al. (2008) midieron en forma no destructiva el color de la piel de mangos “Manila” y “Ataulfo” durante la maduración usando un colorímetro. El contenido de carotenoides en la pulpa fue medido por HPLC-MS. Encontraron correlaciones entre el valor del a^* del CIE de la piel (similar al valor Hunter a) o el ángulo de la tonalidad del CIE y el contenido de carotenoides de la pulpa ($r^2 =0.76$ a 0.81). Dado que el colorímetro es diseñado para mimetizar la percepción humana del color y no optimiza la determinación de la composición química, es posible que un modelo superior se pueda desarrollar para la predicción de carotenoides utilizando un espectrofotómetro portable, que proporcione información más detallada del espectro.

Un número de maquinas clasificadoras comerciales con sistemas de visión automatizada para producciones en-línea están disponibles para la medida en forma no destructiva del color de la piel en líneas de embalaje de fruta (una lista de los fabricantes de maquinarias de clasificadores de fruta) se proporciona en el apéndice. No pudimos encontrar estudios publicados que comparen en mango el funcionamiento de los sistemas en línea de visión con colorímetros o espectrofotómetros para mesada de laboratorio o portátiles de mano.

3.1.2.2 Predicción no destructiva del color de la pulpa del mango

Subedi et al. (2007) evaluaron el uso potencial de un espectrofotómetro de mano para predecir el color interno de la pulpa en mangos “Kensington Pride” y “Calypso” a partir de una medida óptica no destructiva en las regiones visibles e infrarrojo cercano del espectro de luz. No se pudo desarrollar un modelo directo usando medidas ópticas en la región visible para predecir el color interno de la pulpa debido al excesivo ruido de la señal de la región visible al hacer mediciones utilizando este modelo del instrumento. Esto difiere del trabajo de Slaughter et al. (2006) en cuatro cultivares de duraznos clingstone donde un modelo directo del color interno de pulpa, que utilizaba medidas ópticas no destructivas en la región visible, pudo ser desarrollado ($r^2=0.8$). Un modelo indirecto fue desarrollado por Subedi et al. utilizando las medidas del infrarrojo cercano para predecir el valor Hunter b en pulpa ($r^2=0.9$). Es probable que el modelo infrarrojo cercano este basado en relaciones indirectas entre el agua, el almidón, y el contenido de sólidos solubles y el contenido del carotenoides de la pulpa. También observaron que el modelo infrarrojo cercano desarrollado para predecir el color de pulpa en un cultivar no pudo ser utilizado para predecir el color de pulpa en otro cultivar. Cuando la fruta de ambos cultivares fue utilizada para

desarrollar el modelo infrarrojo cercano el resultado fue aceptable ($r^2=0.88$). En “Kensington Pride” la raíz del cuadrado medio del error de la validación cruzada (RMSECV) vario entre 4.7 a 7.8. Los valores medios Hunter b fueron entre 25 y 43 para fruta inmadura y recién madura respectivamente.

3.1.3 Composición interna

3.1.3.1 Imágenes por Resonancia Magnética

Resonancia magnética (RM o RMNnuclear) e imagen por resonancia magnética (MRI- por su sigla en ingles) son métodos de detección no destructivos que se basan en la interacción de ciertos núcleos, tales como carbono e hidrógeno, con la radiación electromagnética en la gama de radiofrecuencia. Los núcleos del hidrógeno producen una de las señales más fuertes y la presencia del hidrógeno en componentes de la fruta tales como el agua, el azúcar y los aceites permite el uso de métodos de RM para la evaluación de calidad de fruta. Las zonas de agua libre (no ligada) o espacios vacíos en el tejido interno de los frutos son fácilmente perceptibles a trabes de MRI y permiten la detección de defectos internos tales como heridas, lesiones for frío, y daños de insectos (e.j., Mazucco et al., 1993). Por ejemplo, Joyce et al. (1993) demostraron que MRI podía ser utilizado como método no destructivo para detectar lesiones en el tejido en la zona del mesocarpio inducidas por tratamientos térmicos en mangos “Kensington Pride” ya que las zonas dañadas contenían en el tejido cavidades llenadas de aire. MRI se ha utilizado para detectar semillas en naranjas (Hernández-Sánchez et al., 2006), pardeamiento interno en manzana (Chayaprasert y Stroshine, 2005) y translucidez en la piña sobremadura (Chen et al., 1989). Chen et al. (1989) demostraron que MRI pudo distinguir el tomate rojo del verde, pero que la discriminación entre verde inmaduro y tomates verdes maduros fue pobre. Chen et al. (1993) pudieron utilizar MRI para medir la relación aceite/agua en frutos enteros de aguacate como índice de madurez para dicha fruta. Clark et al. (1997) publicaron una revisión bibliográfica del uso de MRI en frutas y hortalizas.

Joyce et al. (2002) condujeron un pequeño estudio de MRI en cuatro frutos enteros de mangos “Kensington Pride” durante la maduración. Los datos obtenidos de la imagen indicaron que la actividad de agua en la pulpa aumentaba en un flujo con movimiento hacia el exterior a medida que ésta maduraba, y observaron que la señal de MRI en la parte media de la pulpa aumentó durante la maduración. Se requiere de trabajo adicional para investigar cambios en MRI en mango durante el periodo de maduración y la madurez de consumo.

3.1.3.2 Espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR)

Cuando la luz entra en contacto con un material biológico, los fotones de la luz pueden interactuar con el material a nivel molecular. La luz se caracteriza por su longitud de onda, siendo la luz visible la región de longitudes de onda entre 400 nanómetros (NM) y 700 NM y la región infrarroja cercano (NIR) las longitudes de onda entre 700 NM y 2500 NM. La longitud de onda de la luz se relaciona en forma inversa con su nivel de energía, teniendo la luz visible más energía que la luz en el infrarrojo cercano. Las moléculas tienen estados discretos de energía y la luz puede hacer que una molécula cambie de un estado de energía a otro si la energía

en el fotón empareja la energía requerida para elevar la molécula de un estado de energía a otro. De esta manera cuando la luz entra en contacto con una molécula, esta puede ser absorbida (porque el nivel de energía de la luz empareja el nivel de energía requerido para excitar la molécula a un estado de energía más alta), reflejada por o transmitida a través de la molécula. La longitud de onda de la luz absorbida por la molécula indica el tipo de molécula (por ejemplo, agua, azúcar, almidón, grasa, pigmento, etc.) debido a que hay una relación única entre la energía de la luz y el estado de energía de la molécula.

Varios tipos de instrumentos ópticos han sido desarrollados para medir en forma no destructiva la composición interna de las frutas. En frutas translúcidas pequeñas, como la uva o la mandarina, es posible utilizar técnicas de transmisión ligera en frutos enteros para hacer medidas ópticas no destructivas. Sin embargo, para la mayoría de la fruta, como el mango, el tamaño y la densidad óptica de la fruta hacen que medidas de la transmisión en frutas enteras sean imprácticas y se utilizan los métodos de la medida de la interactancia o de la reflectancia. Interactancia es una técnica óptica no destructiva que permite que las medidas de la absorbancia de la luz sean hechas a través de una porción de la pulpa, típicamente cerca de 1 centímetro en profundidad, dependiendo del grueso de piel. En el laboratorio, las medidas de la interactancia se hacen típicamente usando una sonda de fibra óptica que se presiona contra la fruta, figura 1. En frutas de piel fina, es posible utilizar técnicas de la reflectancia para tomar medidas ópticas de la absorbancia de la pulpa en forma no destructiva. Los métodos de reflectancia poseen la ventaja de ser sin contacto. Sin embargo, las medidas de la reflectancia son típicamente en mucho menor profundidad que las medidas de la interactancia, y requieren que la composición química de la pulpa en la zona apenas por debajo de la piel esté bien correlacionada con la composición química de la fruta entera.

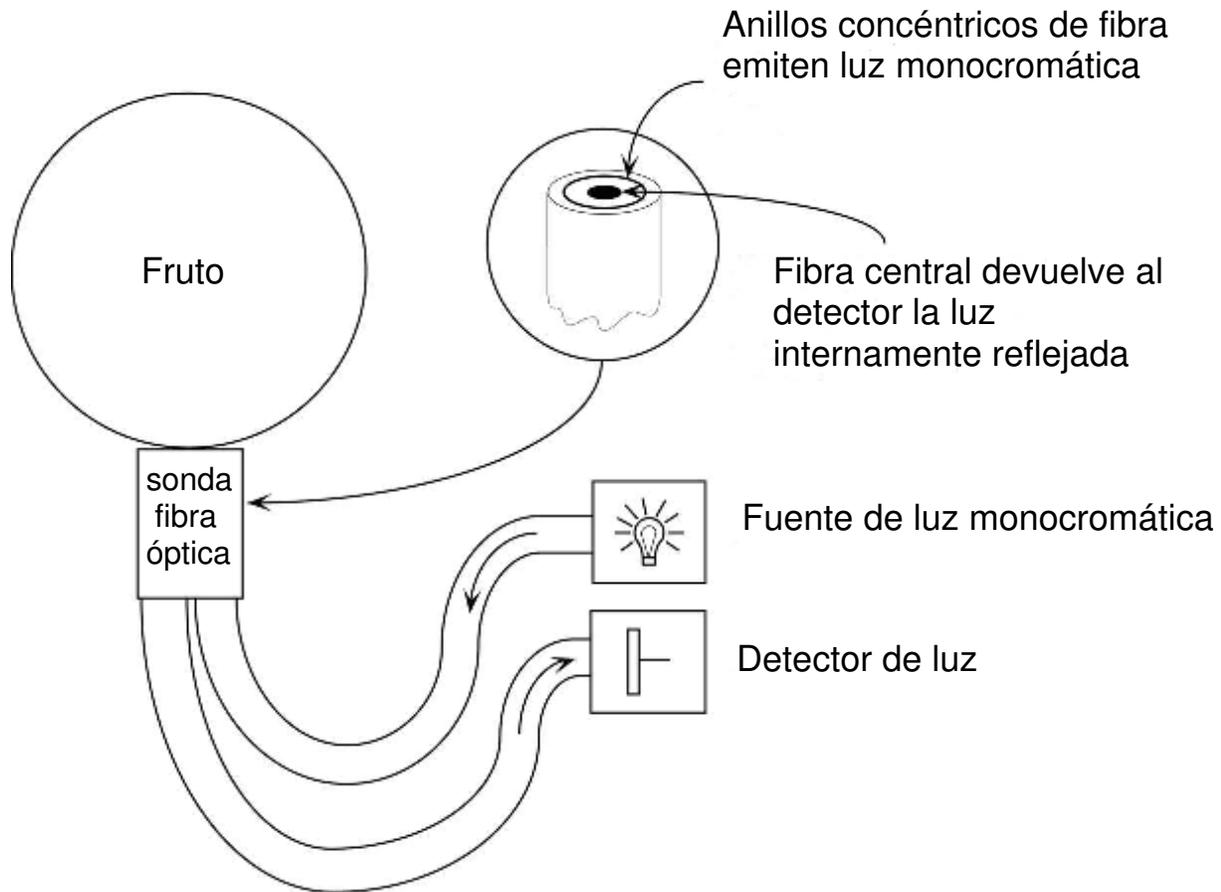


Figura 1. Sonda de interactancia utilizada para hacer medidas ópticas no destructivas de la absorbancia de la fruta.

Slaughter y Abbott (2004) condujeron una revisión bibliográfica de más de cien estudios de investigación en el uso de luz visible e infrarroja cercano para la toma de mediciones no destructivas en la evaluación de calidad interna de frutas y hortalizas.

3.1.3.2.1. Monitoreo de calidad de fruta durante la maduración

Un número de investigadores (por ejemplo, Guthrie y Walsh, 1997; Schmilovitch et al., 2000; Mahayothee et al., 2004; Sivakumar et al., 2006) han estudiado el uso de métodos no destructivos de la reflectancia NIR para la determinación de la calidad interna del mango durante la maduración. Varias calibraciones de NIR para el contenido de sólidos solubles en mango se han desarrollado con coeficientes de determinación que se extienden entre $r^2 = 0.59$ a 0.93 . Algunos estudios han procurado utilizar métodos de NIR para predecir acidez titulable ($r^2 = 0.60$ a 0.75), la firmeza ($r^2=0.62$ a 0.85) o el contenido de la materia seca ($r^2 = 0.66$ a 0.96). Las calibraciones para determinar contenidos de sólidos solubles y de materia seca se basan en bandas conocidas de la absorbancia NIR para el azúcar, el almidón y el agua, mientras que las calibraciones para la acidez titulable y firmeza se deben típicamente a correlaciones indirectas

con otros componentes que tienen bandas de absorbencia en la región de NIR. Los cultivares de mango estudiados incluyeron “Chok Anan”, “Kensington Pride”, “Nam Dakmai” y “Tommy Atkins”.

Algunos estudios han investigado el uso de los métodos de interactancia de NIR como medidas no destructivas de la calidad interna de mangos durante la maduración utilizando instrumentos de laboratorio. Saranwong et al. (2001) desarrollaron un modelo de calibración para contenido de la materia seca mediante NIR con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.94$. Delwiche et al. (2008) desarrollaron modelos de calibración NIR para el contenido de sólidos solubles y el contenido de azúcar en mangos “Ataulfo” con coeficientes de determinación de $r^2 = 0.8$ para el contenido de sólidos solubles y $r^2 = 0.7$ a 0.8 para azúcares específicos.

Walsh et al. (2004) desarrollaron un modelo de la calibración de NIR ($r^2 = 0.79$) para materia seca en mangos utilizando un instrumento disponible comercialmente para el uso en línea, en líneas de embalaje de fruta. Saranwong et al. (2003a, 2003b) utilizaron un instrumento de NIR transportable para predecir el contenido de sólidos solubles y el contenido de materia seca en mangos “Mahajanaka”, “Caraboa”, “Nam Dork Mai” durante la maduración. Encontraron que la performance era aceptable si la fruta era colocada dentro de una bolsa liviana, plateada y apretada de manera de evitar que la luz del sol interfiriera con la medida y si era incluido en el proceso de calibración fruta con una amplia gama de temperaturas de pulpa.

3.1.3.2.2 Monitoreo de calidad de fruta durante la maduración

Dos estudios recientes han utilizado medidas no destructivas de la interactancia de NIR en mangos cosechados en distintos estados de madurez con una gama de frutos inmaduros y maduros. En el primer estudio, Saranwong et al. (2004, 2005) desarrollaron dos modelos de calibración NIR, uno para el contenido de almidón ($r^2 = 0.86$) y otro para el contenido de materia seca ($r^2 = 0.92$) en mangos “Mahajanaka” cuando escaneados durante la cosecha. Luego desarrollaron un modelo lineal usando los valores de almidón y de materia seca predichos en la cosecha para predecir el contenido de sólidos solubles de la fruta cuando maduros ($r^2 = 0.85$). En el segundo estudio, Subedi et al. (2007) desarrollaron un modelo de calibración de NIR donde mangos “Kensington Pride” y “Calypso” fueron escaneados en la cosecha, y los espectros de NIR obtenidos durante la cosecha fueron utilizados para predecir el contenido de sólidos solubles de la fruta al momento de madurez ($r^2 = 0.90$). Observaron que la calibración de NIR para el contenido de la materia seca desarrollado para un cultivar de mango no era adecuado para el uso en otro cultivar. También encontraron que el color de la pulpa (que usa el valor Hunter b) era un mejor índice de madurez en mangos “Kensington Pride” que el contenido de materia seca.

3.1.4 Firmeza

La firmeza de la firmeza es una medida importante de la madurez de cosecha y de la madurez consumo en muchas frutas. Las medidas de firmeza se han basado principalmente por más de ochenta años en una prueba destructiva como el penetrómetro de Magness-Taylor (Magness y Taylor, 1925). Varios métodos para la medición de la firmeza de manera no destructiva se han desarrollado, y están disponibles en forma comercial sistemas en-línea para clasificación automatizada (por ejemplo, Aweta, 2008; Greefa, 2008; Sinclair, 2008). Actualmente, los

sistemas en-línea para calcificación de firmeza de la fruta se basan en la respuesta a la aceleración (Chen et al., 1985) o a la señal acústica (Cooke, 1972) resultante de un impacto elástico de poca energía. García-Ramos et al. (2005) publicaron una revisión bibliográfica que describe las técnicas no destructivas existentes para medir firmeza en fruta tanto en laboratorio como en sistemas en línea.

Un número de investigadores han evaluado métodos no destructivos de determinación de firmeza en mango. Ningunos de los estudios publicados han evaluado los instrumentos para mesada de laboratorio o sistemas en línea que están siendo actualmente manufacturados, pero están basados en principios similares y proporcionan una cierta visión de su performance potencial. Jarimopas y Kitthawee (2007), en mangos “Nam Dokmai” y “Chok Anan”, compararon la respuesta de la aceleración de un impacto no destructivo de poca energía contra una prueba de compresión destructiva estándar, en fruta cosechada sobre un período de 40 días comenzando 75 días después del cuajado de la fruta, cuando esta es aun inmadura. El promedio de la firmeza medida con la prueba de impacto (de 20 grupos de fruta) se correlaciono bien ($r^2=0.94$) con el promedio de la firmeza medida con la prueba de compresión. La fruta se mantuvo firme entre las etapas inmadura y verde-madura y se comenzó a ablandar a medida que avanzo la maduración. Al-Haq y Sugiyama (2004) compararon durante la maduración una medida no destructiva en base a la velocidad del sonido en mangos “Irwin” con una prueba de compresión destructiva estándar y observaron que las medidas se correlacionaron bien ($r^2=0.86$). Hahn (2004) utilizó la medida de la aceleración máxima luego del impacto de una gota de 10 centímetros de mangos “Kent” desde una línea transportadora a otra como método no destructivo de clasificación de fruta durante la maduración. Usando este sistema prototipo en línea, Hahn pudo clasificar los mangos en fruta dura, blanda y muy blanda con una precisión media del 90%. Santulli et al. (2006) utilizaron el escaneado por vibrómetro láser por efecto Doppler para medir la firmeza de la fruta durante la maduración en mangos “Rosa”. Observaron que la frecuencia resonante de la fruta disminuyó (según lo esperado) con la maduración. Mizrach et al. (1997) desarrollaron un método para medir la atenuación de la onda acústica de ultrasonido en mangos como medio no destructivo de determinar firmeza. En un estudio en mangos “Tommy Atkins” encontraron que durante la maduración la señal media de ultrasonido en grupos de 10 frutos se correlaciono ($r^2 = 0.94$) con la medida destructiva tradicional de la firmeza del penetrómetro. Los cambios en la firmeza promedia también se correlacionaron con los cambios en la acidez y contenido de sólidos solubles de la fruta durante la maduración.

4 Necesidades a futuro

4.1. Desarrollo de métodos objetivos para determinación de la madurez del mango

4.1.1. Desarrollar y evaluar un color de pulpa objetivo estándar para la madurez utilizando un colorímetro

Actualmente no ningún método objetivo estándar para la determinación de la madurez en los cinco cultivares principales de mangos en el mercado de los E.E.U.U. (“Ataulfo”, “Haden”, “Kent”, “Keitt”, y “Tommy Atkins”). El primer paso para desarrollar un estándar objetivo para la

determinación de la madurez es la identificación de un método que mida exactamente la madurez de los cinco cultivares principales puestos en los E.E.U.U. En un futuro próximo, el método más prometedor para tal estándar es la medición del color de la pulpa del mango utilizando un colorímetro. La utilización del colorímetro para medir color de pulpa es una medida destructiva. Sin embargo, esta técnica tiene varias ventajas. Es rápida, utiliza instrumentos de mano (colorímetros) que están disponibles comercialmente, demuestra performance más constante a través de los distintos cultivares, y es conveniente para el uso en el huerto.

Es necesario conducir un estudio de investigación para desarrollar y evaluar un estándar de color de pulpa, empleando el colorímetro portátil de mano, para la determinación de la madurez en los cinco cultivares principales de mango que se encuentran en los E.E.U.U. Dado que el color amarillo comienza a aparecer en el centro de la fruta y procede hacia fuera, es esencial que este estudio identifique el mejor punto de localización y profundidad para las mediciones del color de pulpa y que se desarrolle un estándar para utilizar esta localización en forma constante en las evaluaciones siguientes. Este estudio debe evaluar el potencial de este método en estaciones múltiples utilizando fruta procedente de localidades diversas de manera de determinar la influencia de estos factores en la performance de un estándar del color de pulpa.

4.1.2 Desarrollar y evaluar un método no destructivo para medir el color de pulpa en mangos

Hasta la fecha, el color de la pulpa es uno de los métodos objetivos más constantes para la determinación de la madurez en mango a través de distintos cultivares. Un trabajo preliminar se condujo y demostró que un método no destructivo que utiliza una medida indirecta de las propiedades del infrarrojo cercano de la fruta puede predecir el color de la pulpa. Se debe conducir un esfuerzo de investigación y desarrollo para producir un dispositivo de mano para la determinación no destructiva del color de la pulpa del mango en el huerto utilizando una medida directa de la luz visible. La viabilidad de una medida directa no destructiva del color de pulpa en duraznos para conserva ha sido demostrada. Una medida directa del color de pulpa es más probable que muestre performance constante de año a año y de cultivar a cultivar (aspecto de valor considerable para la industria del mango) que una medida indirecta.

4.1.3 Desarrollar y evaluar un método NIR no destructivo para determinar la madurez del mango

De los métodos no destructivos actuales para la medición de la calidad de fruta, la espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR) ha recibido la mayor cantidad de estudios científicos. Los sistemas en línea que usan tecnología de NIR están disponibles comercialmente. Dos estudios han demostrado la viabilidad de determinar el contenido de almidón y de materia seca de mangos inmaduros y maduros utilizando métodos no destructivos de NIR. Estos estudios han demostrado que las medidas de NIR en la cosecha se pueden utilizar para predecir el contenido de sólidos solubles de la fruta cuando estos maduran. Mientras que un número de instrumentos de mano NIR prototipos han sido evaluados por los investigadores para el uso en el campo, no sabemos que estén disponibles en el comercio en este momento. La investigación en métodos de NIR se debe conducir para:

- a) Confirmar que el método no destructivo de NIR puede distinguir fruta inmadura de fruta madura en los cinco cultivares principales de mango en los E.E.U.U.
- b) Determinar cómo el cultivar, la localidad de cultivo, la estación y la temperatura de la fruta afectan la calibración de NIR.
- c) Desarrollar un instrumento de mano de NIR para el uso en el huerto.

4.1.4 Evaluar una nariz electrónica no destructiva para determinar la madurez en mango

Un estudio limitado utilizando una nariz electrónica de mesada de laboratorio demostró el potencial para distinguir entre los volátiles del espacio libre diversos tamaños de mangos verdes. Se necesita investigación adicional para:

- a) Conducir un estudio más completo del uso de una nariz electrónica portátil de mano para determinar la madurez del mango en todos los cultivares encontrados en los E.E.U.U.
- b) Desarrollar la metodología y evaluar el potencial para realizar una medida con la nariz electrónica de mano en el huerto.
- c) Desarrollar un método de estandarización del instrumento, que permita un método confiable y de fácil calibración en el campo de la nariz electrónica de mano, para las mediciones madurez en mangos.

5 Conclusiones

Tal como Kader (2008) ha observado, solamente un número limitado de estudios se ha conducido en los cultivares de mango que se encuentran actualmente en el mercado en los E.E.U.U. Mientras que un número de tecnologías prometedoras existen para la determinación objetiva, no destructiva de la madurez del mango, incluyendo tecnologías que son convenientes para su uso en el huerto, la performance en los cultivares comercializados en los E.E.U.U. requiere estudio. Los dos métodos disponibles hoy para la determinación objetiva de la madurez del mango son el colorímetro para las medidas destructivas del color de la pulpa, y el calibrador infrarrojo cercano en-línea para la determinación no destructivo del contenido de la materia seca en mango (sólidos totales). Kader ha propuesto que el color de la pulpa se podría utilizar como estándar de la madurez para la mayoría de los cultivares. Aunque el colorímetro es una medida destructiva del color de la pulpa, podría ser utilizado inmediatamente en unos pocos frutos en el huerto para entrenar a los cosechadores a reconocer factores externos del tamaño de la fruta, de la forma de la fruta, y del color de fondo de la piel asociado a los mangos maduros en cada huerto.

6 Agradecimientos

El autor desea expresar su aprecio al Dr. Adel Kader por su generosidad en el abastecimiento de acceso a su biblioteca personal y de la ayuda en el desarrollo y corrección de esta revisión bibliográfica y a la ayuda de Chris Gliever, de Alejandría Stewart, de Rosa Padilla, y de Maria E. Gonzalez por su ayuda en el desarrollo de esta revisión.

7 Bibliografía

- Abbott, J. A., R. Lu, B. L. Upchurch, and R. L. Stroshine. 1997. Technologies for nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables. *Hort. Rev.* 20:1-120.
- Abbott, J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharv. Biol. and Tech.* 15: 207–225.
- Ackerman, L. G. J., and P. A. Torline. 1984. Volatile components in the headspace of eight mango cultivars. *Lebensm. Wiss. Technol.* 17: 341–399.
- Al-Haq, M. I., and J. Sugiyama. 2004. Measurement of firmness of Irwin mangoes by a non-destructive acoustic tester during cold storage. *Trans. ASAE.* 47(6): 2017-2021.
- Aweta. 2008. Equipment, Acoustic Firmness Sorter (AFS). Italy. Available at: <http://www.aweta.nl/index.php>. Accessed January 2009.
- Bender, R. J., J. K. Brecht, E.A. Baldwin, and T. M. M. Maludo. 2000. Aroma volatiles of mature-green and tree-ripe ‘Tommy Atkins’ mangoes after controlled atmosphere vs. air storage. *HortScience* 35: 684–686.
- Benedetti, S., S. Buratti, A. Spinardi, S. Mannino, and E. Mignani. 2008. Electronic nose as a non-destructive tool to characterize peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. *Postharv. Biol. and Tech.* 47(2): 181-188.
- Brezmes, J., E. Llobet, X. Vilanova, J. Orts, G. Saiz, and X. Correig. 2001. Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with Pink Lady apples. *Sensors and Actuators B: Chemical.* 80(1): 41-50.
- Butz, P., C. Hofmann, and B. Tauscher. 2005. Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. *J. of Food Sci.* 70(9): R131-R141.
- Chayaprasert W., and R. Stroshine. 2005. Rapid sensing of internal browning in whole apples using a low-cost, low-field proton magnetic resonance sensor. *Postharv. Biol. and Tech.* 36(3): 291–301.
- Chen, P., M. J. McCarthy, and R. Kauten. 1989. NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables. *Trans. ASAE.* 32: 1747–1753.
- Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. In *Proc. Intl. Conf. November 12-15: 171-204.* Seoul, Korea: Agricultural Machinery Engineering.
- Chen, P., M. J. McCarthy, R. Kauten, Y. Sarig, and S. Han. 1993. Maturity evaluation of avocados by NMR methods. *J. of Agric. Eng. Res.* 55(3): 177-187.

- Chen, P., S. Tang, and S. Chen. 1985. Instrument for testing the response of fruits to impact. ASAE Paper No. 85 3537. St. Joseph, Mich. USA: ASAE
- Clark, C. J., P. D. Hockings, D. C. Joyce, and R. A. Mazucco. 1997. Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruit and vegetables. *Postharv. Biol. and Tech.* 11: 1-21
- Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. *Trans. of ASAE* 15: 1075-1080.
- Delwiche, S. R., W. Mekwatanakarn and C. Y. Wang. 2008. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy, *HortTechnology*. 18(3): 410-416.
- García-Ramos, F. J., C. Valero, I. Homer, J. Ortiz-Cañavate, and M. Ruiz-Altisent. 2005. Non-destructive fruit firmness sensors: a review. *Spanish J. of Agric. Res.* 3(1): 61-73.
- Gardner, J., and P. N. Bartlett. 1999. *Electronic Noses: Principles and Applications*. USA: Oxford University Press.
- Gomez, A.H., G.X. Hu, J. Wang, and A.G. Pereira. 2006. Evaluation of tomato maturity by electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*. 54(1): 44-52.
- Gomez, A.H., J. Wang, and A.G. Pereira. 2007. Mandarin ripeness monitoring and quality attribute evaluation using an electronic nose technique. *Trans. ASABE* 50(6): 2137-2142.
- Greefa, 2008. iDF (firmness module). Tricht, NL. Disponible en: <http://www.greefa.nl>.
Accedido: Enero 2009.
- Gross, J. 1987. *Pigments in Fruits*. London: Academic Press.
- Guthrie, J., and K. Walsh. 1997. Non-Invasive Assessment of Pineapple and Mango Fruit Quality using Near Infra-Red Spectroscopy. *Austral. J. Exp. Agric.* 37: 253-263.
- Halm, F. 2004. Mango firmness sorter. *Biosystems Engineering* 89(3): 309-319.
- Hernández-Sánchez, N., P., J. Barreiro, and J. Ruiz-Cabello. 2006. On-line identification of seeds in mandarins with magnetic resonance imaging. *Biosystems Engineering* 95(4): 529-536.
- Hunter, R.S. 1948. Photoelectric color-difference meter. *JOSA* 38 (7): 661.
- Jarimopas, B., and U. Kitthawee. 2007. Firmness properties of mangoes. *Intl. J. Food Properties* 10: 899-909.
- Jha, S.N., S. Chopra, and A.R.P Kingsly. 2005. Determination of sweetness of intact Mango using Visual Spectral Analysis. *Biosystems Engineering* 91(2): 157-161.
- Jha, S.N., A.R.P Kingsly, and S. Chopra. 2006. Non-destructive determination of firmness and yellowness of mango during growth and storage using visual spectroscopy. *Biosystems Engineering* 94(3): 397-402.
- Jha, S.N., S. Chopra, and A.R.P Kingsly. 2007. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Food Engineering* 78: 22-26.

- Joyce, D.C., P. D. Hockings, R. A. Mazucco, A. J. Shorter, and I. M. Brereton. 1993. Heat treatment injury of mango fruit revealed by nondestructive magnetic resonance imaging. *Postharv. Biol. and Tech.* 3:305-311.
- Joyce, D.C., P. D. Hockings, R. A. Mazucco, and A. J. Shorter. 2002. H-nuclear magnetic resonance imaging of ripening 'Kensington Pride' mango fruit. *Functional Plant Biology*. 29: 873-879.
- Kader, A. and B. Mitcham. 2008. Optimum Procedures for Ripening Mangoes. In: *Fruit Ripening and Ethylene Management*: 47-48. Univ. Calif. Postharvest Technology Research and Information Center Publication Series #9: http://postharvest.ucdavis.edu/Pubs/Pub_Desc_9.pdf.
- Kader, A.A. 2008. Mango quality attributes and grade standards: a review of available information and identification of future research needs (report to the National Mango Board). Davis, CA, USA. Kader Consulting Services.
- Lakshminarayana, S. 1980. Chapter 4: Mango. In *tropical and Subtropical Fruits*, 184. Westport, CT, USA: AVI Publishing.
- Lebrun, M, A. Plotto, K. Goodner, M. N. Ducamp, and E. Baldwin. 2008. Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatograph. *Postharvest Biol. and Technol.* 48: 122-131.
- Li, C., P. H. Heineman, and J Irudayaraj. 1997. Detection of apple deterioration using an electronic nose and znose™. *Trans. ASABE* 50(4): 1417-1425.
- Llobet, E., E. L. Hines, J. W. Gardner, and S. Franco. 1999. Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose. *Measurements Sci. Technol.* 10(6): 538-548.
- MacLeod, J.A., and N. M. Pieris. 1984. Comparison of the volatile components of some mango cultivars. *Phytochemistry* 23: 361-366.
- MacLeod, J.A., and C. H. Snyder. 1985. Volatile components of two cultivars of mango from Florida. *J. Agric. Food Chem.* 33: 380-384.
- Magness, J. R., and G.F. Taylor. 1925. An improved type of pressure tester for the determination of fruit maturity. *USDA Circular* 350. Washington D.C., USA.
- Mahayothee, B., M. Leitenberger, S. Neidhart, W. Mühlbauer, and R. Carle. 2004. Non-destructive determination of maturity of Thai mangoes by near - infrared spectroscopy. *Acta Hort.* 645: 581-588.
- Malevski, Y., L. Gomez-Brito, M. Peleg, and M. Silberg. 1977. External color as maturity index of mango. *J. Food Sci.* 42: 1316-1318.
- Malundo, T.M.M., E.A. Baldwin, G.O. Ware, and R.L. Shewfelt. 1996. Volatile composition and interaction influence flavor properties of mango (*Mangifera indica* L.). *Proc. Fla State Hort. Soc.* 109: 264-268.
- Mazza, G. and E. Miniati. 1993. *Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains*. Boca Raton, FL, USA :CRC Press.

- Mazucco, R. A., D. C. Joyce, and P. D. Hockings. 1993. Magnetic resonance imaging applied to harvested mango fruit. *Austral. Postharv. Conf. C.S.I.R.O. Division of Horticulture*, Paper No. 1119:355-358.
- Mizrach, A., U. Flitsanov, and Y. Fuchs. 1997. An ultrasonic nondestructive method for measuring maturity of mango fruit. *Trans. ASAE* 40(4): 1107-1111.
- Ornelas-Paz, J. J., E. M. Yahia, and A. A. Gardea. 2008. Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI⁺-time-of flight mass spectrometry. *Postharv. Biol. and Tech.* 50: 145-152.
- Patterson, T. 2007. The electronic nose knows: handheld technology measures grape maturity. *Wines & Vines* 88(12): 46.
- Reid, M. S. 2002. Maturation and maturity indices. In: *Postharvest technology of horticultural crops*, 55-62 A. A. Kader, ed. Univ. of California, Oakland, CA, USA: ANR Publication 3311.
- Röck, F., N. Barsan, and U. Weimar. 2008. Electronic nose: Current status and future trends. *Chem. Rev.* 108(2): 705-725.
- Salim, S.N.M., A.Y.M. Shakaff, M.N. Ahmed, A.H. Adom, and Z. Husin. 2005. Development of electronic nose for fruits ripeness determination. *Proc. 1st Int. Conf. Sensing Technol.*, 515-518. Palmerston North, New Zealand.
- Santulli, C., and G. Jeronimidis. 2006. Development of a Method for Nondestructive Testing of Fruits using Scanning Laser Virometry (SLV). *NDT.net Sep 2006*, Vol. 11 No. 10 Centre for Biomimetics, University of Reading, UK.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2001. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. *J. Near Infrared Spectrosc.* 9: 287-295.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2003a. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11: 175-181.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2003b. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11: 283-293.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2004. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharv. Biol. and Tech.* 31: 137-145.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2005. Advance technique to predict eating quality of ripe-mango at unripe stage using near infrared spectroscopy. *Acta Hort.* 682: 1427-1433.
- Schmilovitch, Z., A. Mizrach, A. Hoffman, H. Egozi, and Y. Fuchs. 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharv. Biol. and Tech.* 19: 245-252.

- Simon, J. E., A. Hetzroni, B. Bordelon, G. E. Miles, and D. J. Charles. 1996. Electronic sensing of aromatic volatiles for quality sorting of blueberries. *J. Food Sci.* 61(5): 967–969.
- Sinclair, 2009. Sinclair iQ™ Firmness Tester. Fresno, CA, USA.
Accedido: <http://www.sinclair-intl.com>. Enero 2009.
- Sivakumar, S. S., J. Qiao, N. Wong, Y. Gariépy, G. S. V. Raghavan, and J. McGill. 2006. Detecting maturity parameters of mango using hyperspectral imaging technique. ASABE Paper No. 066183 Portland, OR, USA: ASABE.
- Slaughter, D. C., and J. A. Abbott. 2004. Analysis of Fruits and Vegetables. In *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. Agronomy Monograph No. 44. Amer. Soc. of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Slaughter, D.C., and C. Crisosto. 2006. Nondestructive determination of internal quality in clingstone peaches. ASABE Paper 066180. St. Joseph, Mich. USA: ASABE.
- Subedi, P.P., K. B. Walsh, and G. Owens. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharv. Biol. and Tech.* 43(3): 326-334.
- Tan, E. S., D. C. Slaughter, and J. F. Thompson. 2005. Freeze damage detection in oranges using gas sensors. *Postharvest Biol. Tech.* 35(2): 177-182.
- Thompson, J. F., D. C. Slaughter, M. L. Arpaia. 2008. Suspended tray package for protecting soft fruit from mechanical damage. *Applied Eng. in Agric.* 24(1): 71-75.
- Walsh, K.B., M. Golic, and C. V. Greensill. 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a range of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12: 141–148.

8 Apéndice

Lista de Fabricantes de Equipaje para Clasificar Frutas en Línea

La información debajo fue obtenido de las paginas del Web de los fabricantes, obtenidos en enero 2009.

Aweta BV, Nootdorp, The Netherlands

<http://www.aweta.nl/index.html>

Tecnologías de clasificar no destructivos: macas, colores (piel), firmeza (acústico y impacto), contenido de azúcar interno (Brix, por NIR), forma, tamaño, y pesa.

Compac Sorting Equipment Limited, Auckland, New Zealand

<http://www.compacsort.com/>

Tecnologías de clasificar no destructivos: macas, colores (piel), densidad, sabor interno (NIR), forma, tamaño, volumen, y pesa.

Durand-Wayland, Inc., LaGrange GA, USA

<http://www.durand-wayland.com/packing/index.html>

Tecnologías de clasificar no destructivos: macas, colores (piel), densidad, volumen, y pesa.

Greefa, CA Geldermalsen The Netherlands

<http://www.greefa.nl/>

Tecnologías de clasificar no destructivos: macas, colores (piel), firmeza, contenido de azúcar interno (Brix, por NIR), tamaño, y pesa.

MAF Roda Group, Montauban, France

<http://www.maf-roda.com/>

Tecnologías de clasificar no destructivos: macas, colores (piel), firmeza, contenido de azúcar interno, contenido de materia seca y porcentaje de aceite por NIR, forma, tamaño, y pesa.

Sinclair Systems International, LLC., Fresno, CA, USA.

http://www.sinclair-intl.com/pages/produce_pages/pear.html

Tecnologías de clasificar no destructivos: firmeza.