

Evaluación de sensores de línea y manuales para la evaluación no destructiva del contenido y la estimación de la materia seca y color de la pulpa en el mango

Jose Rodriguez-Bermejo and Carlos H. Crisosto
Universidad de California, Davis
Departamento de Ciencias Vegetales
jrbermejo@ucdavis.edu

1. Introducción

La etapa de madurez del mango al momento de la cosecha es crítica para la calidad de consumo de fruta madura. La selección de la fruta debidamente madurada puede basarse en diversas propiedades fisicoquímicas, como son el contenido de materia seca (MS), el contenido de sólidos solubles (CSS), el color de la piel y de la pulpa, la firmeza y demás. El desarrollo y uso de métodos rápidos, fiables y no destructivos para la evaluación de la calidad de los mangos es importante para su la industria, así como para el comercio internacional. En este sentido, se han realizado varios proyectos de investigación con la finalidad de evaluar las capacidades de instrumentos basados en la técnica de espectroscopía infrarroja cercana (NIR por sus siglas en inglés) para determinar propiedades físicas de manera no destructiva, como son la materia seca, firmeza y el contenido de sólidos solubles. Subedi et al. (2013) realizó un proyecto de investigación para evaluar las etapas de madurez óptima del mango utilizando características espectrales de la fruta obtenidas mediante el uso de un equipo de NIR manual para monitorear la madurez con base al contenido de materia seca y el color de la cascara y de la pulpa de la fruta cuando aún está en el árbol. Este estudio indicó que la información obtenida del aparato NIR puede utilizarse para monitorear la madurez de la fruta en el árbol y en la línea de empaque. El modelo de calibración fue lo suficientemente robusto para la materia seca ($R > 0.96$, con $RMSECV < 0.6\%$ MS). Además, la calidad de consumo de la etapa madura de la fruta se puede estimar en sus etapas verdes. McGlone y Kawano (1998) utilizaron espectroscopía NIR para determinar si las propiedades de madurez y fisicoquímicas de pos-cosecha de la fruta del Kiwi podían determinarse de forma no destructiva por medio de modelos de estimación de la firmeza, materia seca, y el contenido de sólidos solubles utilizando medidas de interactancia NIR y valiéndose de un rango espectral estrecho de 800 a 1100 nm. Sus resultados concluyeron que se podía estimar con un buen grado de precisión la materia seca y el contenido de sólidos solubles ($R^2 = 0.90$, $RMSEP = 0.42\%$ para MS; $R^2 = 0.90$, $RMSEP = 0.39$ °Bx for CSS). Schmilovitch et al. (2000) estudió si el uso de espectrometría NIR al medir las propiedades fisiológicas de una fruta de mango intacta (variedad *Tommy Atkins*) era aceptable para establecer relaciones entre las medidas espectrales NIR no destructivas y las principales propiedades fisiológicas e índices de calidad para la fruta de mango. Sus resultados concluyeron que las medidas NIR no destructivas brindan una buena estimación para los índices de madurez de la fruta de mango, en particular al que se refiere como total de sólidos solubles (TSS) ($R^2 = 0.92$). Delwiche et al. (2008) determinó el potencial de la espectroscopía NIR para estimar el contenido de sólidos solubles (CSS) en el mango. En este estudio se midieron mangos maduros a 15 y 20°C utilizando la interactancia NIR (750-1088nm) durante un período de 11 días, comenzando cuando la fruta aún no estaba madura y extendiéndose algunos días más allá de la madurez óptima. Los resultados demostraron que esta técnica era aceptable para la criba y clasificación del mango, así como para la evaluación de la calidad a niveles de mayorista y minorista. Por otra parte, Costa et al. (2008) desarrolló un instrumento manual basado en la espectroscopía VIS que permite al operador evaluar el índice de cosecha. Este estudio indicó que el índice de cosecha más aceptable en el huerto es el color de fondo o de la piel. Sin embargo, en algunos genotipos no es posible distinguir el color de fondo de la piel durante las etapas incipientes del desarrollo de la fruta, de modo que la absorción de clorofila (I_{AD}) podría ser un método confiable para la determinación de la etapa real de maduración. El instrumento basado en la espectroscopía-VIS se llama *DA-meter*, mismo que, al enfocarse en la absorción dentro del rango activo de la clorofila, permite una determinación indirecta del contenido de clorofila en la piel de la fruta en forma no destructiva. En este trabajo se sometió a prueba a los sensores basados tanto en la espectroscopía NIR como VIS. Los sensores basados en la espectroscopía NIR, denominados sensores de línea, se montaron en una línea de empaque,

mientras que los sensores basados en la espectroscopía VIS eran portátiles. El objetivo principal fue evaluar los sensores con la finalidad de juzgar la confiabilidad y calidad de la estimación, en términos del contenido de materia seca y la tonalidad del color de la pulpa.

2. Materiales and Métodos

2.1. Material de fruta

Para este estudio se utilizó fruta de tres cultivares de mango (*Mangifera indica*) producidos en México. Toda la fruta fue comprada a un distribuidor en el punto de recepción en los EE.UU. durante el verano de 2014. Los cultivares sometidos a prueba fueron 'Tommy Atkins', 'Ataulfo', y 'Keitt'.

2.2. Procedimiento experimental

Se realizaron dos campañas de experimentos utilizando los cultivares mencionados arriba. Dos lotes de 300 unidades cada uno de mango 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo' fueron utilizados durante la primera campaña, mientras que un lote de 500 unidades de mango 'Keitt' fue evaluado durante la segunda.

Antes de medir los parámetros de calidad de los especímenes se efectuaron varios procesos. Primero, se recabaron los espectros de cada lado en todos los especímenes mediante el uso de dos sensores de línea montados en una línea de empaque de escala semi-industrial, situada en las instalaciones de *Compac* (Visalia, CA). Los sensores de línea se identificaron como T1 (transmisión) y R2 (reflejo). La recabación de espectros se efectuó utilizando 200 especímenes numerados de mango 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo', y 400 de la variedad 'Keitt'. Cada espécimen fue colocado individualmente en una taza sobre la línea de empaque (velocidad de 5 frutos/segundo) y los sensores recopilaron espectros en la medida que los especímenes pasaban por debajo de ellos. Después, los especímenes se organizaron cuidadosamente en cajas.

Se recopilaron datos para la construcción del modelo de estimación

Segundo, el instrumento *DA-meter* fue utilizado para tomar medidas no destructivas de clorofila I_{AD} en KARE. Estas mediciones consistieron en la toma de dos medidas consecutivas en la zona ecuatorial de cada cachete. El instrumento se configuró para poder calcular el valor promedio de cada par de medidas.

Finalmente, se realizaron análisis destructivos a fin de obtener los valores reales de las variables en evaluación: contenido de materia seca y color de la pulpa. Usando un rebanador, se tomaron piezas de piel de ambos cachetes. Luego, se midió el color de la pulpa por medio de un colorímetro CR-300 (Minolta, Tokio, Japón). El color de espacio que se usó fue *Lab* (CIELAB), definido por la CIE (Comisión Internacional de la Iluminación - *International Commission for Illumination*). Se eligió este color debido a que facilita el cómputo del croma (C^*) y del ángulo de tonalidad ($^\circ$) de las coordenadas 'a' y 'b'. El croma y la tonalidad se usan generalmente para caracterizar cambios en el color de la piel y la pulpa de verde a amarillo durante la maduración. Finalmente, se extrajo un trozo de 27mm de diámetro, 10mm de profundidad de pulpa de cada cachete del mismo lugar donde se tomaron y pesaron medidas no destructivas del color de la pulpa. Los trozos se secaron mediante el uso de diversos deshidratadores a una temperatura de 46°C durante 48 horas. Después del período de secado, se calculó la materia seca de acuerdo con la fórmula que aparece a continuación.

$$DM (\%) = 100 - \left[\left(\frac{F - D}{F} \right) \cdot 100 \right]$$

en la que, F y D representan el peso fresco y seco en gramos, respectivamente.

2.3. Análisis de datos

Se recabaron los espectros y valores reales. Posteriormente, los modelos de estimación fueron desarrollados por *Taste Technologies* (Nueva Zelanda) para cada variedad de mango. Utilizando un análisis de regresión (STATISTICA para software de Windows, *StatSoft Inc.*, 1995) de conjuntos de datos de calibración, se calcularon los modelos de regresión lineal entre las estimaciones de los sensores de línea y los valores reales del contenido de materia seca y color de la pulpa.

Luego de recopilar datos del *DA-meter* y los valores reales, se construyeron análisis de discriminación (RStudio para software de Windows, RStudio, Inc., 2009-2013). Se establecieron categorías de segregación de acuerdo con los criterios sobre contenido de materia seca establecidos por Crisosto y Crisosto (2012). En la Tabla 1 aparecen los límites de las clases para materia seca y el instrumento (*DA-meter*) para las tres variedades.

Cultivar	Límites de clase	
	MS (%)	DA-meter
Tommy Atkins	< 13	< 0.75
	13 – 16	0.75 – 1.5
	> 16	> 1.5
Ataulfo	< 14.5	< 0.75
	14.5 – 17	0.75– 1.5
	> 17	> 1.5
Keitt	< 13	< 0.75
	13 – 16	0.75– 1.5
	> 16	> 1.5

Tabla 1. Límites de las clases para análisis de discriminación.

3. Resultados

3.1. Sensores de línea

En la Tabla 1 aparecen los coeficientes de correlación (R^2), los errores estándar de la predicción (SEP) y la raíz de los errores cuadráticos medios de la predicción (RMSEP). Al comparar los resultados de ambos sensores de línea, observamos que el sensor 'R2' obtuvo los mejores resultados para las variedades 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo'. Sin embargo, no tenemos resultados disponibles para la variedad 'Keitt' en el caso de 'T1' debido a que este sensor no funcionó correctamente durante la segunda campaña de experimentos. Las figuras 1, 2 y 3 muestran las correlaciones entre los valores estimados y los calculados.

En efecto, resultó posible segregar los frutos de mango en función del contenido de materia seca (%) y la tonalidad de la pulpa utilizando sensores de línea. Las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' fueron segregadas en función del contenido de materia seca (%) con un 76% de eficacia, mientras que la variedad 'Keitt' se pudo segregar con una eficacia de 63%. En términos del color de la pulpa, las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' se pudieron segregar con una eficacia del 66% y 64%, respectivamente. Sin embargo, la segregación de la variedad 'Keitt' no fue lo suficientemente aceptable (39%).

Sensor	Transmisión (T1)			Reflejo (R2)		
Parámetro	R ²	SEP	RMSEP	R ²	SEP	RMSEP
Ataulfo						
MS (%)	0.75	1.29%	1.50%	0.76	1.01	2.39
Tonalidad°	0.56	1.38%	1.73%	0.66	1.21	1.22
T. Atkins						
MS (%)	0.44	0.98	1.13	0.76	0.66	6.63
Tonalidad (color)°	0.41	1.86	1.87	0.64	1.51	4.82
Keitt						
MS (%)	-	-	-	0.63	1.06	1.23
Tonalidad°	-	-	-	0.39	1.54	1.59

Tabla 2. R², SEP, y RMSEP para contenido de materia seca MS (%) y color de pulpa (tonalidad°) modelos (variedades: 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', y 'Keitt') para los sensores T1 y R2.

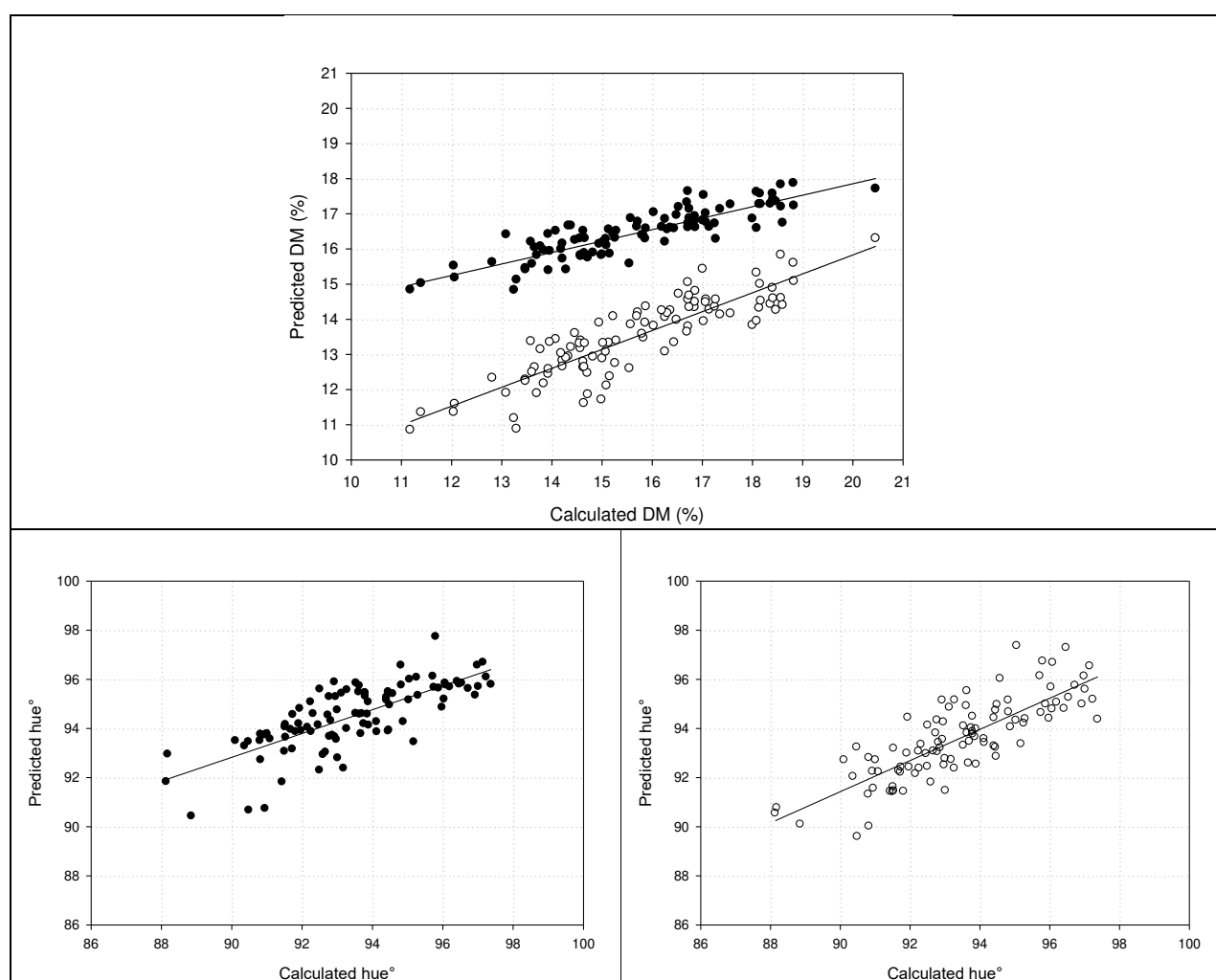


Figura 1. Contenido de materia seca MS (%) y tonalidad° – Calculado vs. estimado para la variedad 'Ataulfo': T1 (●), R2 (○).

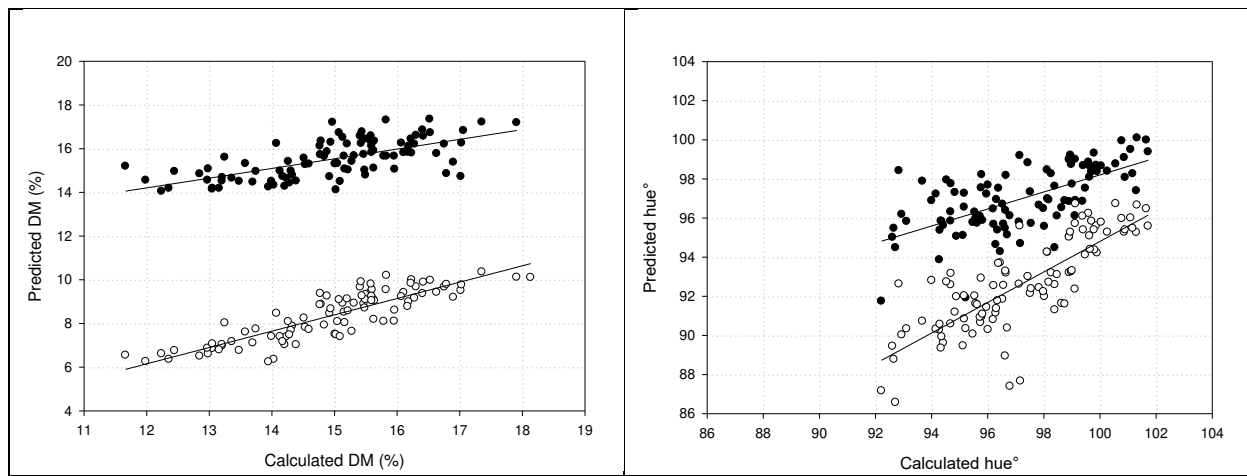


Figura 2. Contenido de materia seca MS (%) y tonalidad° – Calculado vs. estimado para la variedad ‘Tommy Atkins’: T1 (●), R2 (○).

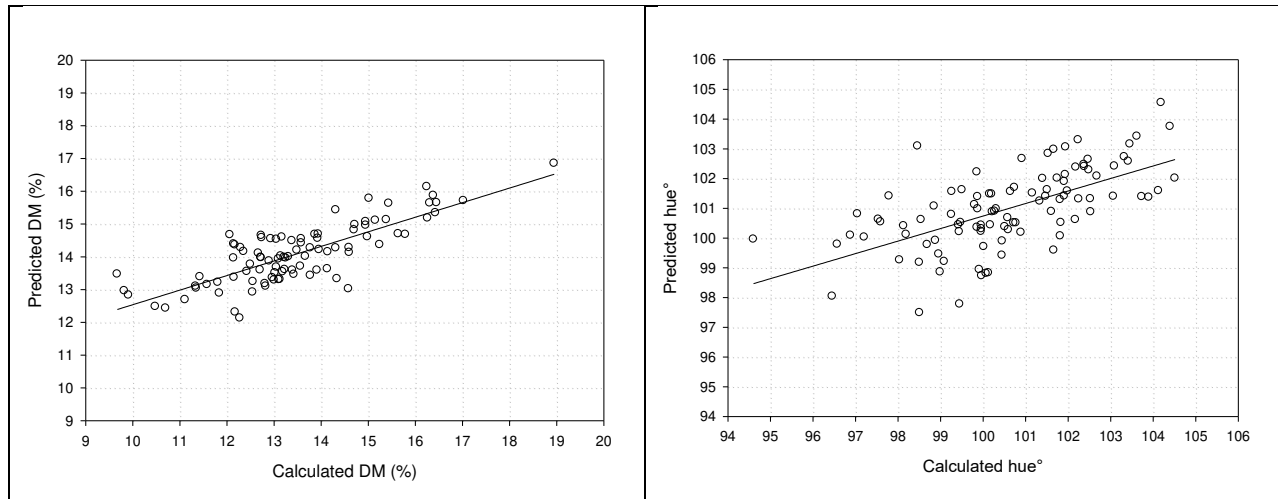


Figura 3. Contenido de materia seca MS (%) y tonalidad (color) – Calculado vs. estimado para la variedad ‘Tommy Atkins’: R2 (○).

3.2. Instrumento *DA-meter*

De acuerdo con proyectos de investigación realizados anteriormente (Infante et al. 2011 y Kader, 1999), la absorción de la clorofila se reduce durante el último período de desarrollo de la fruta en el árbol debido a su madurez y maduración fisiológica y hortícola. Asimismo, existe una variabilidad natural en la maduración de la fruta dentro del árbol en cualquier momento dado. Los especímenes usados en este proyecto de investigación fueron comprados directamente de un distribuidor en el punto de recepción en los EE.UU., de modo que no fue posible saber si todos fueron cosechados, o no, del mismo árbol o huerto. Asimismo, no fue posible conocer los criterios de calidad bajo los cuales se cosecharon, por lo tanto, es imposible confirmar la confiabilidad de las medidas del *DA-meter*.

Se realizaron análisis de discriminación estableciendo categorías para el contenido de materia seca (MS) y los valores del instrumento *DA-meter*. Estos análisis se efectuaron tomando en consideración un proyecto de investigación realizado anteriormente con el durazno (Valero, et al., 2007), en el que se desarrolló un análisis de discriminación a fin de poder segregar el durazno en función de estimaciones no destructivas de la firmeza. Los resultados se muestran en la tabla que aparece a continuación. El límite inferior de clase se eligió de acuerdo con un índice de calidad mínima (MQI por sus siglas en inglés) que se propuso en base al contenido de materia seca

(Crisosto y Crisosto, 2012). Para las variedades 'Tommy Atkins' y 'Keitt', no se observaron diferencias estadísticas significativas cuando el contenido de materia seca (MS) registró valores por debajo del 16%. Esto significa que el instrumento *DA-meter* no tiene la capacidad para segregar frutas con contenido de materia seca por debajo del 16%. Sin embargo, ambas variedades podrían segregarse en dos categorías (MS<16%, MS>16%). Para la variedad 'Ataulfo', se observaron diferencias estadísticas significativas al registrar contenidos de materia seca dentro del rango de 14.5 – 17%, y por encima del 17%. Este resultado permitiría la segregación del mango 'Ataulfo' en dos categorías.

Variedad	MS (%) clases	DA-m	DA-m clases	MS (%)	tonalidad°
Ataulfo	<14.5	1.55 ab	<0.75	15.93 a	92.12 b
	14.5 – 17	1.58 a	0.75 – 1.5	15.70 a	93.80 b
	>17	1.45 b	>1.5	15.47 a	94.97 a
Tommy Atkins	<13	1.52 a	<0.75	15.98 a	96.00 b
	13 – 16	1.39 a	0.75 – 1.5	15.38 b	96.33 b
	>16	1.14 b	>1.5	14.94 c	99.11 a
Keitt	<13	1.99 a	<0.75	15.27 a	96.58 a
	13 – 16	1.91 a	0.75 – 1.5	14.57 a	100.57 a
	>16	1.79 b	>1.5	13.66 ab	99.86 a

Tabla 3. Resultados de los análisis de discriminación para las tres variedades.

Cuando se utilizaron clases del instrumento *DA-meter* para segregar los especímenes en grupos, tomamos nota de que, en términos del contenido de materia seca, no observamos diferencias estadísticamente significativas en la variedad 'Ataulfo'. Sin embargo, los especímenes de 'Tommy Atkins' podrían segregarse en tres grupos distintos. Finalmente, los resultados para la variedad 'Keitt' no fueron claros, aunque sí fue posible aseverar que el valor del instrumento *DA-meter* era inversamente proporcional al contenido de materia seca (MS).

En términos de color de la pulpa, las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' se segregaron en dos grupos. Aquellos que registraron niveles de clorofila I_{AD} mayores y menores que 1.5. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas para la variedad 'Keitt'.

4. Conclusiones

Los modelos de predicción contruidos para la clasificación de fruta de mango mediante el uso de sensores de línea (*Compac*), en función del contenido de materia seca (MS) y color de la pulpa rindieron resultados significativos. Las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' fueron segregadas en función de contenido de materia seca (%) con una eficacia del 76%, mientras que la variedad 'Keitt' fue segregada con una eficacia del 63%. En términos del color de la pulpa, las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' se pudieron segregar con una eficacia del 66% y 64%, respectivamente. Sin embargo, la segregación de la variedad 'Keitt' no fue lo suficientemente aceptable (39%).

Para evaluar la confiabilidad del instrumento manual (*DA-meter*), se efectuaron análisis de discriminación estableciendo categorías para el contenido de materia seca (MS) y valores del *DA-meter*. Las variedades 'Tommy Atkins' y 'Keitt' no presentaron diferencias estadísticamente significativas cuando el contenido de materia seca registró valores por debajo del 16%. Esto significa que el instrumento *DA-meter* no tiene la capacidad para segregar frutas con contenido de materia seca por debajo del 16%. Sin embargo, ambas variedades podrían segregarse en dos categorías (MS<16%, MS>16%). Para la variedad 'Ataulfo', se observaron diferencias estadísticamente significativas al registrarse contenidos de materia seca dentro del rango de 14.5 – 17%, y por encima del 17%. Este resultado permitiría la segregación del mango 'Ataulfo' en dos categorías.

En términos de color de la pulpa, las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' fueron segregadas en dos grupos. Aquellos que registraron niveles de clorofila (I_{AD}) mayores y menores que 1.5. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para la variedad 'Keitt'. En este punto, se puede decir que se observó que estos especímenes se cosecharon muy verdes, hasta inmaduros, ya que no lograron madurar de la forma adecuada. De acuerdo con las recomendaciones de la Junta Nacional del Mango (National Mango Board), el mango se debe cosechar cuando tiene madurez de cosecha, pero no madurez de consumo. Cuando el mango se cosecha muy verde o inmaduro, la fruta no madura de forma natural.

5. Comentarios finales

La segregación de la fruta de mango en función del contenido de materia seca (MS) fue posible en la línea de empaque. Sin embargo, la segregación en función del color de la pulpa solamente fue posible para las variedades 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins', ya que la segregación de la variedad 'Keitt' fue muy deficiente. En relación al instrumento *DA-meter*, los resultados concluyeron que podría ser posible utilizar este instrumento para segregar especímenes en grupos de contenido de materia seca (MS) y color de pulpa, en función de sus valores de clorofila (I_{AD}).

Sería recomendable llevar a cabo proyectos de investigación adicionales en huertos de mango a fin de establecer modelos lo suficientemente confiables como para segregar a la fruta mediante el uso del instrumento *DA-meter*, en función del color de la pulpa para cada genotipo y variedad. Asimismo, se deben desarrollar modelos de evolución de color de la pulpa durante la última etapa de madurez para poder entender los comportamientos de las variedades durante esta etapa y, por lo tanto, optimizar la fecha de cosecha, lo cual sería más barato y rentable. Finalmente, la fruta de mango sería más homogénea desde la perspectiva de la calidad al llegar a los EE.UU.

6. Referencias

Subedy, P., Walsh, K. and Purdy, P. Determination of Optimum Maturity Stages of Mangoes Using Fruit Spectral Signatures. 2013. Acta Hort. 992, ISHS 2013, pp. 521-527.

V. Andrew McGlone, Sumio Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, 13, pp. 131-141.

Ze'ev Schmilovitch, Amos Mizrach, Aharon Hoffman, Haim Egozi, Yoram Fuchs. 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. Postharvest Biology and Technology, 19, pp. 245-252.

Stephen R. Delwiche, Weena Mekwatanakarn, and Chien Y. Wang. 2008. Soluble Solids and Simple Sugars Measurement in Intact Mango Using Near Infrared Spectroscopy. HortTechnology, 18(3), pp. 410-416.

Ziosi, V., Noferini, M., Fiori, G., Tadiello, A., Trainotti, L., Casadoro, G., Costa, G. 2008. A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. Postharvest Biology and Technology, 49(3), pp. 319-329.

R. Infante, L. Contador, P. Rubio, K. Mesa, C. Meneses. 2011. Non-destructive monitoring of flesh softening in the black-skinned Japanese plums 'Angeleno' and 'Autumn Beaut' on-tree and postharvest. Postharvest Biology and Technology, 61, pp. 35-40.

Valero, C., Crisosto, C.H., Slaughter, D., 2007. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. Postharvest Biol. Technol. 44, 248-253.

Mango Maturity & Ripeness Guide. National Mango Board. www.mango.org