



# **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN NO DESTRUCTIVO PARA LA CLASIFICACIÓN DE MANGOS EN FUNCIÓN DE SU MADUREZ**

**MÁSTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS**

Victoria Cortés López  
Carlos Blanes Campos  
Coral Ortíz Sánchez  
Pau Talens Oliag

ETSIAMN

# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN NO DESTRUCTIVO PARA LA CLASIFICACIÓN DE MANGOS EN FUNCIÓN DE SU MADUREZ

Cortés López V., Blanes Campos C.<sup>1</sup>, Ortiz Sánchez C<sup>2</sup>., Talens Oliag P.<sup>3</sup>

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue el desarrollo de un sistema de automatización para la clasificación no destructiva de mango en categorías de madurez. Durante el estudio, 120 mangos de la variedad 'Kent' se almacenaron en condiciones de temperatura y humedad controladas, y se manipularon con una garra neumática acoplada a un brazo robot. Las características espectrofotométricas en visible-infrarrojo cercano, color de la piel, peso, parámetros de textura (fuerza/distancia en compresión en tres puntos del fruto), actividad de agua, grados brix, pH y acidez titulable fueron determinadas. Mediante una clasificación no supervisada (Cluster), los parámetros de textura destructivos y los parámetros, índice de madurez y pH, fueron empleados para establecer tres categorías de madurez de los mangos (medios, maduros y sobremaduros). Las variables obtenidas de los acelerómetros colocados en los dedos de la garra neumática de manipulación de productos, junto con las variables de color externo y del espectro visible-infrarrojo cercano, fueron utilizadas para clasificar los mangos en las tres categorías de madurez obteniéndose un 82 % de frutos bien clasificados.

**PALABRAS CLAVE:** mango, madurez, técnicas no destructivas, garra robot, clasificación.

## RESUM

L'objectiu del present treball va ser el desenvolupament d'un sistema d'automatització per a la classificació no destructiva de mànec en categories de maduresa. Al llarg de l'estudi, 120 mànecs de la varietat 'Kent' es varen emmagatzemar en condicions de temperatura i humitat controlades, i es varen manipular amb una urpa pneumàtica acoplada a un braç robot. Les característiques espectrofotomètriques en visible-infraroig pròxim, color de la pell, pes, paràmetres de textura (força/distància en compressió en tres punts del fruit), activitat d'aigua, graus brix, pH i acidesa titulable varen ser determinades. Per mitjà d'una classificació no supervisada (Cluster), els paràmetres de textura destructius i els paràmetres índex de maduresa i pH,

---

<sup>1</sup> [carblac1@ai2.upv.es](mailto:carblac1@ai2.upv.es). Instituto de Automática e Informática Industrial. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

<sup>2</sup> [cortiz@dmta.upv.es](mailto:cortiz@dmta.upv.es). Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

<sup>3</sup> [pautalens@tal.upv.es](mailto:pautalens@tal.upv.es). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

varen ser empleats per a establir tres categories de maduresa dels mànecs (mitjans, madurs i sobremadurs). Les variables obtingudes dels acceleròmetres col·locats en els dits d'una urpa pneumàtica de manipulació de productes, junt amb les variables de color extern i de l'espectre visible-infraroig pròxim, varen ser utilitzades per a classificar els mànecs en les tres categories de maduresa obtenint-se un 82 % de fruits ben classificats.

PARAULES CLAU: mànec, maduresa, tècniques no destructives, urpa robot, classificació.

### **ABSTRACT:**

The aim of this work was to develop an automation system for the non-destructive discrimination of mango fruit according to ripeness. During the study, 120 of the 'Kent' variety mango fruits were stored in controlled conditions of temperature and humidity, and manipulated by a pneumatic robot gripper. Visible and near-infrared spectrophotometry, skin color, weight, texture parameters (compression strength /distance in three points of the fruit), water activity, brix degree, pH and titratable acidity were determined. Using an unsupervised classification (Cluster), the destructive texture parameters and the parameters, maturity index and pH, were used to establish three ripeness categories of mango fruit (medium, ripe and overripe). The variables obtained from the accelerometers placed on the fingers of the pneumatic robot gripper during product handling, along with external color and visible and near-infrared spectrophotometry variables, were used to classify the mango fruit in the three ripeness categories with an 82% of well classified fruit.

KEYWORDS: mango, ripeness, non-destructive techniques, robot gripper, classification.

## INTRODUCCIÓN

Numerosos autores han trabajado en la determinación no destructiva de calidad en fruta fresca (Ruiz-Altisent *et al.*, 2010). Actualmente, existen sensores muy variados capaces de evaluar distintos aspectos de la calidad de frutas y hortalizas frescas. La puesta en marcha de sensores montados en línea permitiría la evaluación global de las partidas y el establecimiento de una categorización del producto. La selección de los sensores debe efectuarse tanto en función de los aspectos cualitativos a evaluar, como en función de las restricciones de uso y presupuesto.

El origen del uso de técnicas no destructivas se debe a que, generalmente los métodos físicos, químicos y/o biológicos tradicionales usados en la determinación de la calidad de fruta fresca son lentos y costosos, de ahí que la industria se plantee la necesidad de disponer de métodos más rápidos, precisos y económicos para la determinación analítica de las características de los productos hortofrutícolas. En este contexto, la industria está interesada en poder llevar a cabo determinaciones no destructivas de la calidad, que no dañen ni deprecien el producto, (Peiris *et al.*, 1998). Existe una amplia variedad de métodos no destructivos (Espectroscopía VIS/NIR, fluorescencia, rayos X, etc.), que están siendo evaluados y utilizados por la industria para medir atributos de calidad de frutas y hortalizas intactas (Flores *et al.*, 2008; Valente, 2009). Entre estas técnicas, la espectroscopía en el visible e infrarrojo cercano (NIR), reúne una serie de requisitos adecuados para que se puedan investigar y desarrollar sistemas de control de calidad de productos. Entre estos requisitos destacan que es una técnica no destructiva, tiene una alta velocidad de respuesta, bajo coste analítico por muestra, nula preparación de muestras, versatilidad para el análisis de muy diversos productos y parámetros, posibilidad de su incorporación en línea y técnica limpia que no utiliza reactivos, y por tanto no genera residuos (Garrido *et al.*, 1993; Garrido, 1997).

Dentro de la calidad organoléptica de los frutos, el estado de madurez juega un papel muy importante. El término maduro presenta diferentes definiciones, incluso algunos productores de fruta y tecnólogos en post-cosecha de productos hortícolas, diferencian entre la madurez a la cosecha y la madurez de consumo (Reid, 2002). Pero la mejor descripción podría ser el momento de cosecha óptimo, que asegura una calidad de fruta suficiente para que satisfaga o supere el nivel mínimo por parte del consumidor en el momento de su consumo. Uno de los índices de madurez más utilizados es la textura, que es una combinación de las propiedades que confieren al fruto firmeza o frescura. La firmeza depende fundamentalmente de la resistencia a la deformación y al esfuerzo cortante. Actualmente, esta "calidad mecánica" se determina con un penetrómetro en ensayos destructivos mediante un vástago cilíndrico que penetrará la piel y mide la fuerza necesaria para la penetración. Este ensayo destructivo no permite clasificar directamente los frutos por su estado de madurez, ya que destruye la muestra. Varias tecnologías se están desarrollando para la detección de la firmeza como transmisión ultrasónica, respuesta vibratoria, fuerza-deformación, respuesta al impacto, espectroscopía en el infrarrojo cercano y

análisis hiperespectral (Hahn, 2004; Herrero-Langreo *et al.*, 2012; Leiva-Valenzuela *et al.* 2013).

Esta investigación se centrará en evaluar la posibilidad de clasificar mango, fruta tropical de alto valor añadido, mediante el uso de técnicas no destructivas en base a su estado de madurez. La elección de este fruto como objeto de estudio fue debido a su importancia económica, al ser el quinto fruto de consumo mundial y el tercero entre los frutos tropicales, inmediatamente detrás del plátano y la piña tropical. La FAO estima que la cosecha de mango rondará los 28,8 millones de toneladas en el ejercicio del 2014, es decir, el 35% de la producción mundial de frutas tropicales (Manjavacas, 2012). Se distingue entre las frutas tropicales no sólo por su sabor dulce y aromático, sino también por sus propiedades nutritivas al ser rico en vitaminas y minerales, por lo que es altamente cotizado en el mercado (Pérez *et al.*, 2003).

El fruto del mango es una drupa grande y carnosa, que posee un mesocarpo comestible y fibroso (o no, según los cultivares), de grosor variable (según los cultivares y las condiciones de cultivo), y con un sabor que se extiende en una amplia gama desde trementina a dulce, pasando por diversos grados de acidez. Su peso varía desde 200 hasta unos 2000g, y su forma puede ser desde redonda hasta ovoide, arriñonada, y a veces aplanados lateralmente, y de color entre verde, amarillo y distintas tonalidades de rosa, rojo y violeta (Galán Saúco, 2009). El crecimiento y la maduración fisiológica solo se completan cuando el fruto permanece unido a la planta de la cual procede, pero la madurez organoléptica y la senescencia pueden continuar incluso separada de la planta (Kader, 1992). El mango es un fruto climatérico típico, cuyo pico respiratorio se produce entre los 6 y 10 días posteriores del momento de la cosecha, el cual es identificado por el incremento de la actividad respiratoria y una alta tasa de respiración, que coincide en mayor o menor medida con los cambios de color, olor y textura típicos del fruto durante el proceso de maduración (Pérez *et al.*, 2003).

Dado que el mango es una fruta de alta calidad, y así se refleja en su precio, es importante que la selección de la fruta se realice con el grado apropiado de maduración. Existen varios criterios para determinar el momento óptimo de recolección, así especificado por algunos autores como Mendoza y Wills (1984) y Bósquez Molina (1997). En el mango no se conocen cambios visibles que determinen su vencimiento, tan solo algunos indicadores como el color, tamaño o forma proporcionan una indicación aproximada (Thangaraj y Irulappan, 1989). Son los cambios en los parámetros como el ablandamiento de la carne, la disminución de la acidez, el aumento del contenido en azúcares, sólidos solubles y sólidos totales, así como el aumento de los pigmentos carotenoides, los que pueden presentar cierta utilidad para determinar la madurez (Lakshminarayana, 1980). El análisis de los parámetros de calidad interna como el contenido en azúcares, firmeza y acidez, entre otros, se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante técnicas de medición destructivas. Los cambios de firmeza pueden ser detectados con métodos no destructivos como puede ser la espectroscopía visible (Jha *et al.*, 2006), la combinación de espectroscopía vis/NIR con técnicas acústicas, tal y como hicieron Valente *et al.* (2009) para

dos variedades de mango ('Kent' y 'Keitt'), o mediante impacto no destructivo (Padda *et al.*, 2011). Sin embargo, hoy en día, son los operarios de las líneas de envasado quienes efectúan la inspección manual de los parámetros de calidad de los productos.

Algunos autores señalan el riesgo de posibles infecciones patógenas durante la cosecha y post-cosecha debido a la manipulación manual (Todd *et al.*, 2010). Para evitar esta posible contaminación microbiana por parte del humano, así como para la ejecución de tareas arduas y repetitivas (Blanes *et al.*, 2011), se plantea el diseño de un brazo robot higiénico, y capaz de trabajar muchas horas diarias manteniendo una calidad constante (Pettersen *et al.*, 2010). El brazo robot junto con un sistema de estimación no destructiva de los parámetros relacionados con la madurez, automatizaría la clasificación de los frutos en distintos lotes de acuerdo con su destino.

El objetivo del presente trabajo fue el desarrollo de un sistema de automatización, para la clasificación no destructiva de mango en categorías de madurez, en función de las variables obtenidas de los acelerómetros colocados en los dedos de una garra neumática de manipulación de productos, junto con las variables de color externo y del espectro de visible-infrarrojo cercano.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Metodología y diseño experimental**

Para el desarrollo de la investigación, se compraron 120 mangos de la variedad 'Kent'. El criterio de selección fue en base a la forma, tamaño, peso, ausencia de daños mecánicos y fitosanitarios, y madurez al tacto. Se seleccionaron con la mayor variabilidad posible en cuanto al estado de madurez. Entre las especificaciones requeridas, se exigió que tuvieran un peso de alrededor de 500g y una forma arriñonada similar entre todos ellos.

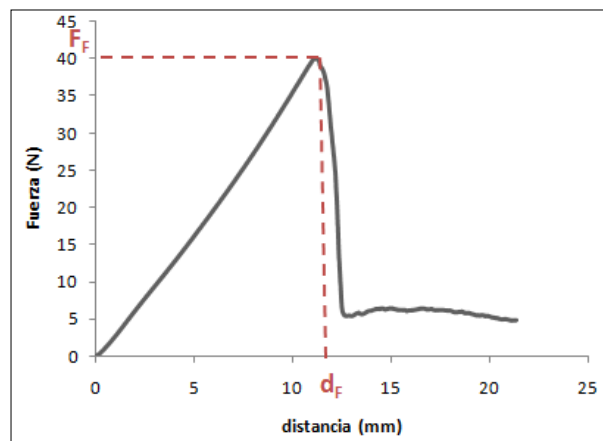
Se realizó un lavado previo de todos los mangos con una disolución jabonosa preparada con dos gotas de lavavajillas por cada litro de agua, y posteriormente se secaron con papel desechable hasta eliminar totalmente el agua de la superficie. A continuación cada mango fue identificado y almacenado a 10°C (Russián y Manzano, 2003). Los mangos se repartieron en 7 lotes en función de su madurez al tacto, y cada lote fue analizado independientemente. En cada lote de mangos se analizó su composición interna (peso, humedad, grados brix, pH, acidez y actividad de agua), las propiedades ópticas en la región del visible y en el infrarrojo cercano (NIR) y las propiedades mecánicas (mediante un ensayo destructivo y un ensayo no destructivo).

## Determinaciones experimentales

### ANÁLISIS DESTRUCTIVOS

Después de la manipulación de los mangos con la garra robot, de la toma de medidas no destructivas y la medida del peso con una balanza modelo CB Complet M-620CBC (COBOS) de sensibilidad  $\pm 0,001\text{g}$ , a cada mango se le determinó sus propiedades mecánicas y se analizó su composición interna (actividad de agua, humedad, grados brix, pH y acidez).

Para la caracterización de las propiedades mecánicas del mango, se realizó un ensayo de punción con una prensa universal Stable Micro Systems (SMS) modelo Texture Analyser-XT2. El ensayo se realizó con un punzón de 6 mm de diámetro (P/15 de la firma ANAME) hasta una deformación relativa del 30%, a una velocidad de 1 mm/s. Las pruebas se realizaron por triplicado para cada mango. Los parámetros analizados de cada una de las curvas fuerza-distancia fueron la fuerza de fractura ( $F_F$ ) expresada en Newtons y su distancia en el punto de fractura ( $d_F$ ) en milímetros (FIGURA 1).



**FIGURA 1.** Curva de punción de una muestra de mango fresco, en la que se representa la fuerza frente a la distancia.

Tras el análisis mecánico, cada mango de forma individual fue sometido a un proceso de pelado y triturado para obtener muestras semilíquidas mediante una batidora marca Taurus.

La determinación de la actividad del agua ( $a_w$ ) se realizó entre 25 y 29°C mediante la utilización de un higrómetro de condensación marca “Decagón” modelo AquaLab-CX-2, con una sensibilidad de  $\pm 0,001$ , el cual se había calibrado previamente con soluciones salinas saturadas.

Para la determinación de la humedad se siguió el método 20.013 (AOAC, 1980) para frutas ricas en azúcar. Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de una muestra cuando se coloca en una estufa de vacío a una temperatura de 60 °C dejándose secar hasta peso constante. La diferencia de peso antes y después del secado en la estufa referido al peso inicial de la muestra proporciona la humedad de la misma (g agua / g muestra).

La determinación de sólidos solubles se realizó por refractometría (°Brix). Se utilizó un refractómetro digital serie RFM330+ termostatado a 20°C y con una sensibilidad de  $\pm 0,1^\circ\text{Brix}$ .

Los análisis de pH se realizaron con un pHmetro BASIC20+ marca CRISON. Previamente calibrado con sus patrones correspondientes (UNE 34212:1981).

Por último, la determinación de la acidez titulable se realizó para cada muestra utilizando un valorador automático con NaOH 0,5 N hasta alcanzar un pH de 8,1 (UNE 34211:1981) usando 15g del triturado de mango y diluyéndolo en 60mL de agua destilada. Dicha acidez se determinó en base al ácido cítrico que se calculó usando la ecuación 1.

$$\text{ácidez [g ácido cítrico/ 100 g de muestra]} = \frac{(A \times B \times \frac{C}{D}) \times 100}{E} \quad (1)$$

donde A es el volumen de NaOH consumidos en la valoración (L), B es la normalidad del NaOH (0,5 N), C es el peso molecular del ácido cítrico (192,1g / mol), D es el peso de la muestra utilizada (15 g) y E es la valencia del ácido cítrico (3).

Varios índices de madurez han sido sugeridos para algunas variedades de mangos, pero sin embargo, no existe un índice de madurez que tenga significado práctico (Medlicott y Jeger, 1987). En este trabajo se calculó la relación de madurez dividiendo el valor de los °Brix entre la acidez de la muestra.

## ANÁLISIS NO DESTRUCTIVOS

El color se midió sobre la piel del mango a través del espectro de reflexión entre 400-700nm, mediante la utilización de un espectrocolorímetro MINOLTA modelo CM-700d (Minolta CO. Tokyo, Japan). A partir de dichos espectros de reflexión de las muestras se obtuvieron las coordenadas de color CIEL\*a\*b\* utilizando como referencia el iluminante D65 y el observador de 10°. A partir de éstas, se estimaron las coordenadas psicométricas tono ( $h^*$ ) y croma ( $C^*$ ), mediante las ecuaciones 2 y 3, respectivamente.

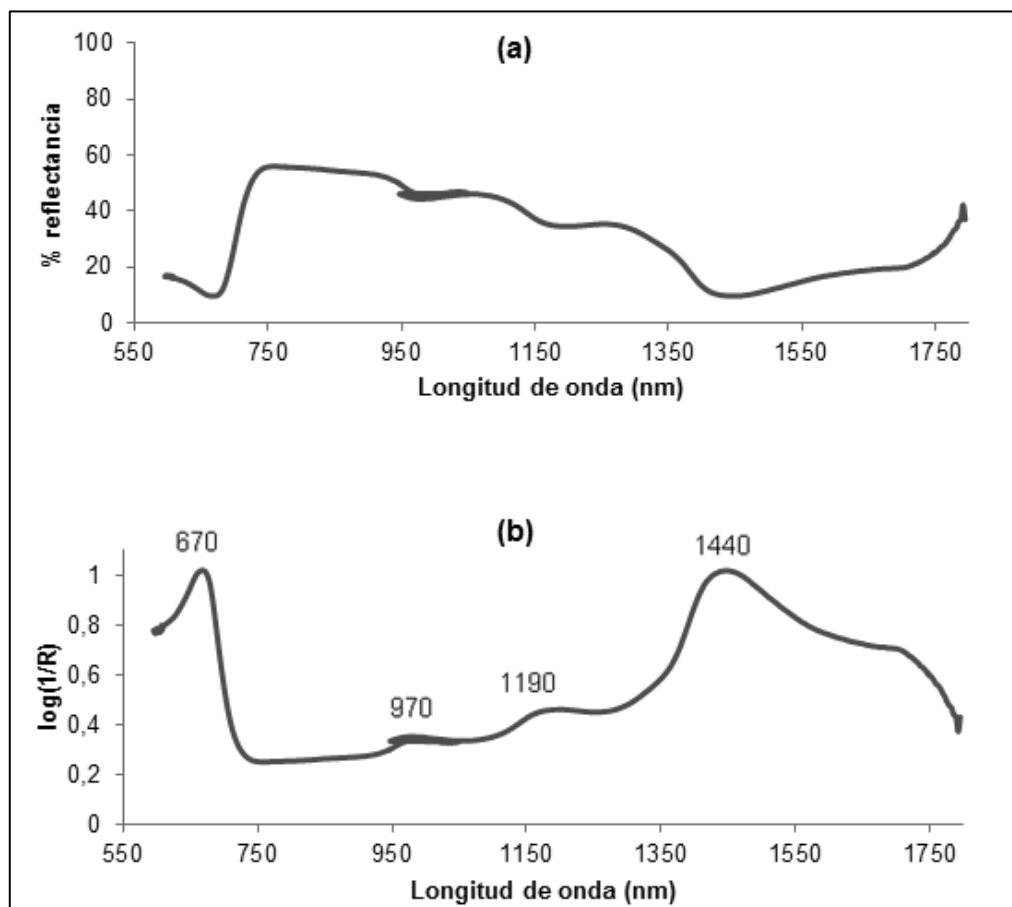
$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

La determinación de las propiedades espectrofotométricas se realizó mediante la adquisición de los espectros de reflexión utilizando un espectrómetro Visible-NIR portátil (modelo AvaSpec 08100-84-U2 correspondiente a la sonda que abarca desde los 600 a los 1100nm y la sonda 08100-85-U2 que va desde los 900 a los 1750nm), conectado a una lámpara halógena de AvaLight-Hal-S. La calibración del blanco y el negro se realizan con unos patrones estándar de referencia adquiridos con el equipo. El mango se coloca sobre el soporte de la muestra donde la sonda (sensor)



se encuentra fija en el centro de la base del soporte. Un total de cinco espectros son los que se adquieren para cada punto del mango analizado, los cuales se promedian automáticamente a una única señal del espectro. La señal espectral que nos proporciona el equipo viene representada como muestra la FIGURA 2 (a), la cual indica para cada longitud de onda un porcentaje de reflectancia dado. Se realizó un primer procesamiento de dichas curvas realizando la primera derivada de la reflectancia (FIGURA 2, b) con el objetivo de obtener una línea base compensada, eliminando también la dispersión de los datos espectrales y ampliando la señal espectral de cada uno de los picos. Analizando todas las curvas se identificaron las longitudes de onda comunes en todas ellas que fueron a 670, 970, 1190 y 1440 nm.



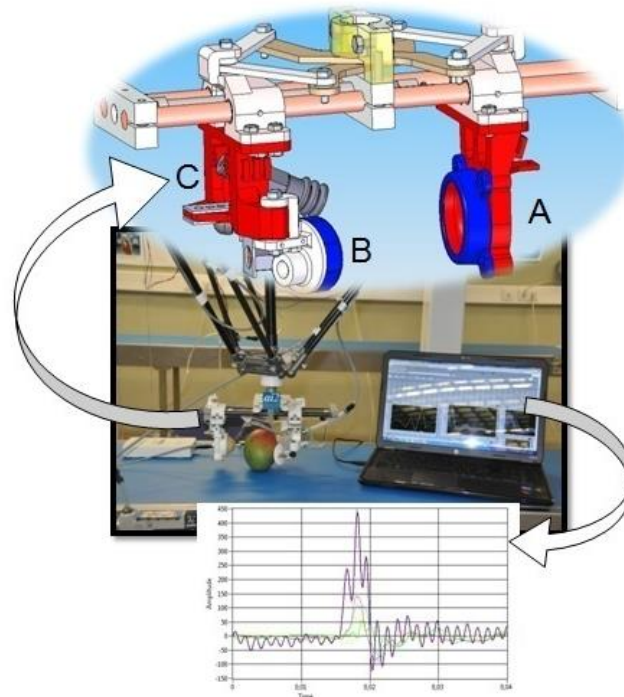
**FIGURA 2.** Espectro proporcionado por el equipo (a) y espectro procesado (b).

Por último, se realizó el análisis no destructivo con una garra acoplada a un robot. La garra neumática ha sido expresamente diseñada para manipular mangos y dispone de acelerómetros acoplados en sus dedos. Consta de tres dedos, que se cierran de forma paralela, y de una ventosa. El dedo "A" dispone de la capacidad de copiar la forma de los productos cuando entra en contacto con él a través de la succión que se realiza en el interior de la membrana de látex con material granular en su interior. Los otros dos dedos

“B” y “C” están unidos por medio de una rótula que facilita la adaptación a la forma del producto. Una ventosa colocada entre los dedos “B” y “C” permite que el mango se mantenga solidario a estos dedos durante la operación. La garra también dispone de tres acelerómetros, modelo ADXL 278 con capacidad para  $500 \text{ m/s}^2$ , colocados en cada uno de los dedos que tienen la capacidad de registrar la deceleración de los dedos de la garra durante el proceso.

Para el correcto funcionamiento son necesarios una serie de dispositivos periféricos como el módulo de control del vacío de la membrana de látex con función de soplado para facilitar la adaptación al producto, una electro válvula para control de la operación de apertura y cierre de la garra, un Venturi para el funcionamiento de la ventosa y un programa robot que controla todos los dispositivos.

La Figura 3 presenta la imagen de la garra robótica y un ejemplo de señal registrada por los acelerómetros durante el proceso de agarre del mango.



**FIGURA 3.** Imagen de la garra robótica y ejemplo de una señal registrada por los acelerómetros durante el proceso de agarre del mango en el que se representa la deceleración ( $\text{m/s}^2$ ) frente al tiempo (segundos).

El programa del robot se encarga de controlar la operativa de los dispositivos para el funcionamiento de la garra. Para facilitar la adaptación de la membrana un breve periodo de soplado se realiza justo antes de cerrar la garra. Posteriormente se realiza el vacío copiando la forma del producto. Este proceso se repite con el producto en el aire y la ventosa en funcionamiento. Se realizan 5 golpes en el aire. El primero de ellos vuelve a copiar la forma del producto y los cuatro últimos se emplean para procesar la información de los acelerómetros. El programa robot dispone de una tarjeta

de adquisición de datos que recoge y envía al ordenador las señales de los acelerómetros, y de un software de adquisición y procesado de las señales programado en LabVIEW. El software se encarga de procesar las señales de los acelerómetros y sacar variables independientes que se cruzarán con los ensayos de referencia destructivos para evaluar la calidad del producto. Tres tipos de variables son extraídas: las energéticas en función del área de la señal a lo largo del tiempo, los máximos absolutos de deceleración registrados y, los valores de la pendiente de la deceleración tras el contacto con el producto. Se emplean diversos algoritmos para calcular los distintos parámetros según se acondicione la señal.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las herramientas de análisis Cluster y análisis discriminante del programa Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, Inc. Warrenton, VA) fueron utilizadas para el análisis de los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la materia prima

La TABLA 1 muestra los valores medios y la desviación estándar del peso, la humedad ( $x_w$ ), contenido en sólidos solubles ( $x_{ss}$ ), contenido en sólidos inertes ( $x_i$ ), actividad de agua ( $a_w$ ), pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (SST/AT) y la relación fuerza de fractura-distancia ( $F_F/d_F$ ) para el conjunto de los 120 mangos analizados.

**TABLA 1.** Valores medios de los análisis composicionales y mecánicos de los 120 mangos.

	Peso (g)	$x_w$ (g/100g)	$x_{ss}$ (g/100g)	$x_i$ (g/100g)	$a_w$	pH	SST (°Brix)	AT (g/100g)	SST/AT	$F_F/d_F$ (N/mm)
MEDIA	497,7	84,0	14,6	1,4	0,982	3,8	14,8	0,5	32,7	3,9
DESV.	54,1	1,4	1,3	0,4	0,001	0,3	1,4	0,2	12,0	2,1

En base a la TABLA 1 de valores medios del conjunto de datos experimentales ya se pueden diferenciar aquellos parámetros que no resultan discriminatorios para diferenciar los mangos. A grandes rasgos, se puede observar como la actividad de agua ( $a_w$ ) no es una característica determinante para clasificar los mangos dado que su valor medio es de 0,982 con una desviación estándar de  $\pm 0,001$ . De forma similar ocurre con la humedad ( $x_w$ ), la cual presenta relación con la  $a_w$ , así como con el contenido en sólidos solubles ( $x_{ss}$ ), aunque los sólidos inertes ( $x_i$ ) marcan cierta diferenciación entre mangos factor tampoco determinante ya que no se encuentra relacionado con la madurez sino más bien con el lugar donde se realizó el cultivo que puede modificar su porcentaje en fibra, por ejemplo.

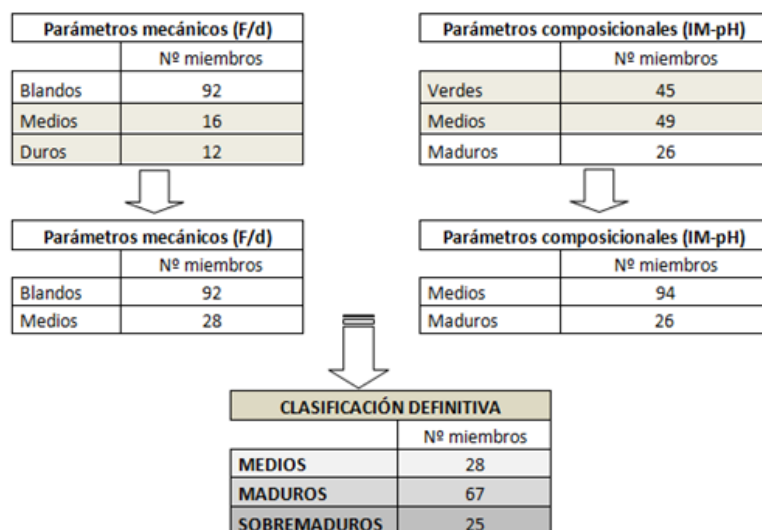
Se puede observar también, como el contenido en sólidos solubles totales (SST) es muy similar para todos los mangos teniendo en cuenta que su valor medio es de alrededor de 14,8°Brix con una desviación estándar de

±1,4. Báez (1998) reportó que los mangos 'Kent' con características de exportación deben presentar al momento de corte valores mínimos de 7,3 °Brix, mientras que Lakshminarayana (1980) reportó un incremento, durante la maduración, de 8,7 a 19,4 °Brix. Teniendo en cuenta esto, el experimental parte con unos mangos de exportación que fueron comprados ya con un contenido en SST mayor al que puede presentar un mango que no sufre un proceso de transporte y se recolecta directamente de la planta madre para ser analizado en un corto periodo de tiempo. Algunos autores como Lalel *et al.* (2003) que evaluaron cultivares 'Kensington Pride', concluyeron que solo los frutos cosechados en estado verde pero fisiológicamente maduro, presentan respiración y producción de etileno típica de fruto climatérico, pero que sin embargo, aquellos frutos con madurez de consumo no presentan variación significativa en SST.

### Establecimiento de las categorías de madurez

El objetivo fue establecer grupos de madurez tomando como referencia los análisis destructivos realizados. Se relacionaron los parámetros mecánicos con la composición interna del mango. Tras la caracterización de la materia prima, se pudo llegar a la conclusión de que tan solo aquellos parámetros que presentaban una variabilidad capaz de mostrar diferencias entre los distintos mangos, serían capaces de establecer categorías de madurez. Por un lado, se seleccionaron los parámetros mecánicos destructivos (relación Fuerza-distancia en tres puntos del fruto), y por otro lado, se seleccionaron los dos parámetros composicionales que más diferencias establecían como era el índice de madurez (SST/AT) y el pH.

En la FIGURA 4 se muestra el esquema llevado a cabo a nivel estadístico hasta conseguir una clasificación en tres categorías de madurez en base a los análisis destructivos que se tomaron como referencia.



**FIGURA 4.** Esquema de obtención de las categorías definitivas de madurez.

Mediante una clasificación no supervisada (Cluster en 3 categorías, método de Ward, distancia euclídea cuadrada y valores estandarizados) los frutos se clasificaron en tres categorías de madurez química (“Medios”, “Verdes” y “Maduros”) en función del índice de madurez y el pH. Las categorías de “Medios” y “Verdes” fueron fusionados para formar una única categoría llamada “Medios” ya que los mangos provenían de exportación desde Brasil y, como se ha indicado anteriormente, habían sufrido ya un periodo de maduración durante el transporte en barco. De la misma manera, las variables de textura destructiva fueron utilizadas para establecer tres categorías de madurez mecánica (“Duros”, “Medios” y “Blandos”). La categoría de “Duros” fue integrada con la categoría de “Medios”. Estas dos clasificaciones de dos categorías cada una se combinaron de tal forma que, con las categorías “Maduros” y “Blandos” se formó la categoría “Sobremaduros”, con las categorías “Blandos” y “Medios” se formó la categoría “Maduros”, y por último con las dos categorías “Medios” se formó la categoría de “Medios”.

### Análisis de los ensayos destructivos para las tres categorías de madurez

En la TABLA 2 se muestran los valores de los parámetros destructivos para las tres categorías de madurez.

**TABLA 2.** Caracterización de las tres categorías de madurez.

		$x_w$ (g/100g)	$x_{ss}$ (g/100g)	$x_i$ (g/100g)	$a_w$	pH	SST (°Brix)	AT (g/100g)	SST/AT	$F_f/d_f$ (N/mm)
MEDIOS	MEDIA	83,9 <sup>a</sup>	14,3 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	0,982 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>	0,7 <sup>a</sup>	22,5 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>
	DES.V.	2,1	1,9	0,6	0,002	0,2	1,9	0,2	7,6	2,1
MADUROS	MEDIA	84,0 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	0,982 <sup>a</sup>	3,8 <sup>b</sup>	14,8 <sup>a</sup>	0,5 <sup>b</sup>	30,3 <sup>b</sup>	3,3 <sup>b</sup>
	DES.V.	1,2	1,1	0,3	0,001	0,2	1,2	0,1	6,3	0,7
SOBREMADUROS	MEDIA	84,0 <sup>a</sup>	14,8 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	0,982 <sup>a</sup>	4,2 <sup>c</sup>	15,0 <sup>a</sup>	0,3 <sup>c</sup>	50,7 <sup>c</sup>	2,3 <sup>c</sup>
	DES.V.	1,2	1,2	0,1	0,001	0,1	1,2	0,0	8,0	0,5

Diferentes letras en el superíndice dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre grupos (P<0,05).

Teniendo en cuenta las tres categorías definitivas de clasificación de los mangos en base a su madurez, es importante destacar que, tal y como se ha señalado anteriormente en la TABLA 1, la actividad de agua ( $a_w$ ) no presenta diferencias significativas (P>0,05) entre los tres grupos de madurez (TABLA 2). Su valor medio se encuentra para todas las categorías alrededor de 0,982, valor lógico ya que la fruta fresca en su periodo de post-cosecha cuenta con una  $a_w$  cercana a 0,99 proporcionándole a la fruta un periodo de vida corto debido a que se favorecen las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas encargadas de la senescencia (Eunice *et al.*, 2007). Dado que la humedad ( $x_w$ ) se encuentra estrechamente relacionada con la  $a_w$ , ésta tampoco presenta diferencias significativas entre los tres grupos, al igual que el contenido en sólidos solubles ( $x_{ss}$ ) (TABLA 2), pero sí que las hay entre sólidos inertes ( $x_i$ ) debido básicamente a una diferencia del lugar de cultivo del mango pero que no afecta a nivel de madurez.

De forma similar ocurre con el contenido de sólidos solubles totales (SST), éste de forma aislada no presenta diferencias significativas (P>0,05) para las tres categorías de madurez establecidas (TABLA 2), ya que todas

ellas presentan una media de alrededor de 15°Brix. Probablemente si se hubiera seleccionado un mango de variedad nacional, en su estado verde, que no sufre un transporte durante días, hubiera sido posible obtener un mayor contraste entre las muestras con la posibilidad de tener extremos de composición mucho más marcada. Vázquez-Salinas y Lakshminarayana (1985) determinaron que durante el proceso de maduración los valores de glucosa siempre son más bajos que los de fructosa y sacarosa, la cual puede alcanzar el 75% del total de azúcares en la pulpa de frutos de mango de las variedades 'Haden', 'Irwin', 'Kent' y 'Keitt', y que el incremento de la sacarosa coincide con la disminución de almidón sugiriendo que la síntesis y acumulación progresiva de la sacarosa está directamente relacionada a la hidrólisis de almidón por productos como la glucosa.

Sin embargo, los resultados de acidez titulable (AT) promedio (TABLA 2) revelan que disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ) desde los mangos de madurez media hasta los sobremaduros, con una media en general de 0,3g/100g para los sobremaduros y de 0,7g/100g para los de madurez media. Los dos ácidos más dominantes son el cítrico y el málico (Lobit *et al.*, 2006). Medlicott y Thompson (2006), analizaron mangos de la variedad 'Keitt' y determinaron que la pérdida de acidez fue debida al decrecimiento de la acidez titulable en los mangos más maduros. Rathore *et al.* (2007), afirman que la disminución en la acidez de los mangos puede ser debido a la degradación del ácido cítrico, el cual puede ser atribuido al incremento de la actividad de la enzima glyoxylasa durante el proceso de maduración o puede ser originado por su conversión en azúcar. Lebrun *et al.* (2008) también estudiaron la maduración en mangos de la variedad 'Keitt', 'Kent' y 'Cogshall' cosechados en diferentes estados de desarrollo, y en todos los materiales observaron pérdida de la acidez e incremento de los sólidos solubles totales.

Teniendo en cuenta estos dos análisis destructivos analizados anteriormente, es posible establecer un índice de madurez a partir de la relación SST/AT y que fuese capaz de marcar diferencias entre categorías, tal y como se observó en la TABLA 1. A partir de la TABLA 2 que diferencia entre categorías de madurez, se observa como dicha relación se incrementa significativamente ( $P < 0,05$ ) desde los mangos de madurez media, pasando por los maduros, hasta los sobremaduros, con una media de alrededor de 23, 30 y 51 respectivamente.

En cuanto a los valores de pH (TABLA 2), se observa un ligero incremento significativo ( $P < 0,05$ ) desde los mangos de madurez media hasta los sobremaduros, pasando de unos valores medios de 3,6 a 4,2 respectivamente. Dicho incremento está asociado al proceso de maduración (Medlicott y Thompson, 2006).

Las propiedades mecánicas del mango vienen regidas por la relación fuerza de fractura ( $F_F$ ) y su distancia ( $d_F$ ), la cual indica la resistencia opuesta por la piel y que variará en función de su maduración. Dicha maduración se caracteriza por el natural y gradual ablandamiento, el cual se debe a la progresiva depolimerización de polisacáridos pécticos y hemicelulósicos con pérdidas significativas de galactosa, arabinosa y manosa (Yashoda *et al.*, 2005). Las hidrolasas de la pared celular muestran un incremento en su actividad durante la maduración, especialmente en el

estado climatérico (Fry, 1995), mientras que la pectinmetiltransferasa disminuye jugando un papel importante en el ablandamiento y pérdida de viscosidad de la pulpa. En frutos climatéricos la elevada actividad de la poligalacturonasa coincide con la alteración considerable en la textura durante la maduración y la conversión de polisacáridos pécticos en galacturonidos solubles en agua (Zhi *et al.*, 2008). Por ello, se observa una pérdida de firmeza desde los mangos de madurez intermedia con un valor medio de 7N/mm hasta los mangos sobremaduros con un valor medio de 2N/mm, marcando así unas diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las tres categorías (TABLA 2).

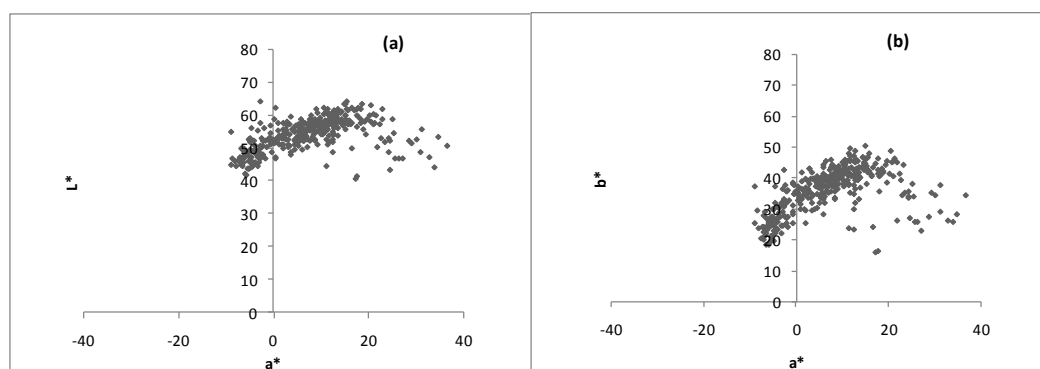
### Análisis de los ensayos no destructivos

En la TABLA 3 se muestran los valores medios y sus desviaciones de la luminosidad ( $L^*$ ), croma ( $C^*$ ) y tono ( $h^*$ ) para las tres categorías de madurez.

**TABLA 3.** Caracterización colorimétrica para las tres categorías de madurez.

		$L^*$	$C^*$	$h^*$
<b>MEDIOS</b>	MEDIA	49,7	28,2	96,2
	DESV.	4,5	6,3	9,2
<b>MADUROS</b>	MEDIA	55,5	39,8	78,0
	DESV.	3,4	4,5	8,1
<b>SOBREMADUROS</b>	MEDIA	55,4	43,2	72,5
	DESV.	2,3	2,0	4,7

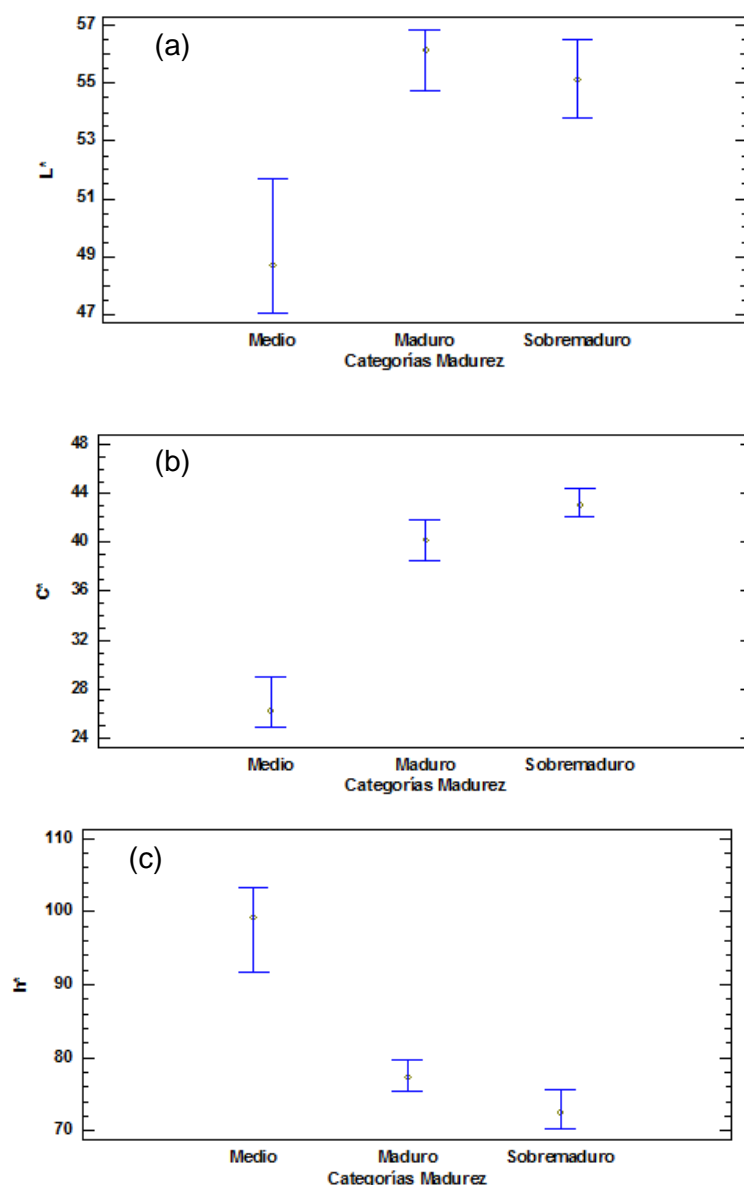
La FIGURA 5 muestra la ubicación de los planos cromáticos  $a^*L^*$  y  $a^*b^*$  para el conjunto de los 120 mangos.



**FIGURA 5.** Planos cromáticos  $a^*L^*$  y  $a^*b^*$  para los 120 mangos.

En cuanto al color de la piel del conjunto de mangos no se detectan diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en los valores de la luminosidad (FIGURA 6, a) para los mangos medios y sobremaduros con un nivel de confianza del 95% ya que la media se encuentra alrededor de 55 en una escala del 0 al 100. Sin embargo, sí que destacan los valores más bajos de la variable croma (FIGURA 6, b) para los mangos de madurez media lo que indica que éstos presentan una menor pureza de color con una media de alrededor de

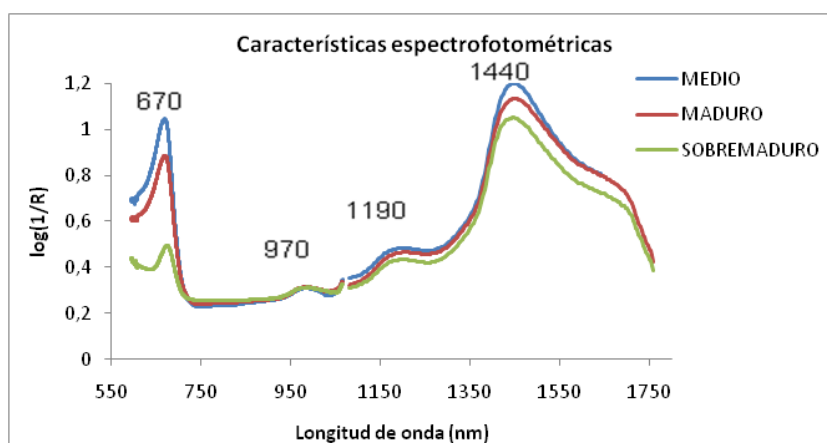
un 28 frente a los 43 de los mangos sobremaduros. A su vez, se observan unos valores medios de tono (FIGURA 6, c) de  $96^\circ$  para los mangos de madurez media debido a que en éstos dominan los tonos verdes debido su mayor contenido en clorofilas, y dichos valores medios irán disminuyendo para los mangos maduros donde dominan los colores amarillos con un tono medio de  $78^\circ$  y un tono medio de  $73^\circ$  para los mangos sobremaduros ya que el color dominante se desplaza hacia los naranjas-rojos debido al aumento del contenido en  $\beta$ -carotenos y xantofilas en la epidermis del mango (Vélez-Rivera *et al.*, 2014).



**FIGURA 6.** Análisis de la luminosidad ( $L^*$ ) (a), del croma ( $C^*$ ) (b) y del tono ( $h^*$ ) (c) para las distintas categorías de madurez.

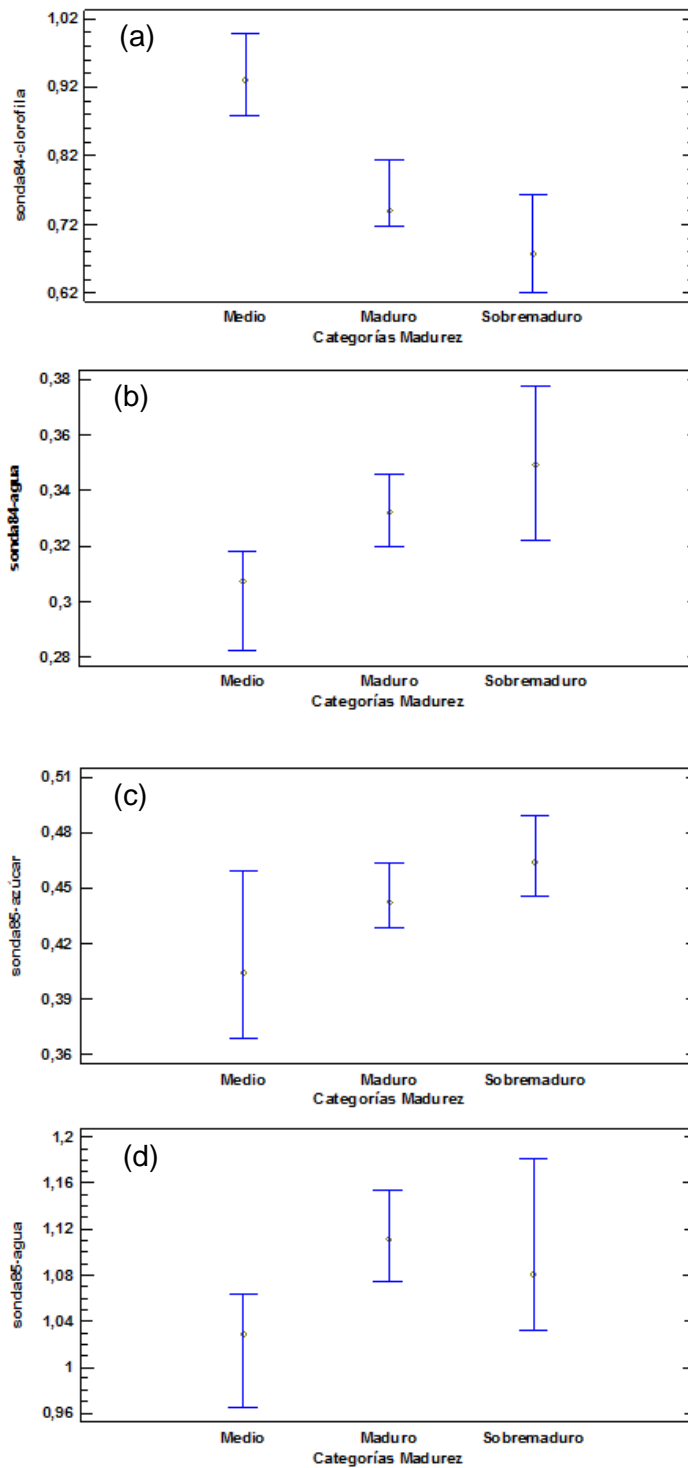


A partir de las gráficas composicionales obtenidas mediante la sonda espectrofotométrica fue posible identificar una serie de regiones espectrales óptimas, tal y como hizo Mahayothe *et al.*, 2004, el cual también trabajó con mangos y en modo reflectancia. El primero de los picos identificado es característico de la banda de la clorofila, que cerca de 670nm tiene una fuerte correlación inversa con el contenido en azúcar. El segundo pico (970nm) es indicativo del contenido en agua. Otros picos característicos eran los del contenido en azúcar entre 1200 y 1440nm, siendo el segundo componente mayoritario justo detrás del agua, aunque en la última banda a 1440nm puede verse influido también por el alto contenido en agua por las frutas (Flores *et al.*, 2008).



**FIGURA 7.** Espectros Visible-NIR de tres mangos diferentes pertenecientes a distintas categorías de madurez.

De entre todos los picos y de acuerdo a las tres categorías de madurez establecidas, tan sólo es posible diferenciar significativamente ( $P < 0,05$ ) entre categorías si se toma como variable de análisis la clorofila (FIGURA 8, a), es decir, el pico de 670nm. Sin embargo, para el resto de picos no es posible diferenciar ( $P > 0,05$ ) entre categorías de madurez (FIGURA 8, b, c, d). Atendiendo a los análisis destructivos, parece lógico que la sonda no sea capaz de diferenciar entre categorías de madurez dado que a nivel destructivo tampoco aparecían diferencias significativas analizando aisladamente los SST relacionado con el contenido en azúcar, ni entre la humedad o actividad de agua que presenta un estrecha relación con el contenido en agua identificado a dos longitudes de onda por la sonda.



**FIGURA 8.** Análisis espectrofotométrico para las cuatro categorías de madurez. Pico de la clorofila (a), del agua a 970nm (b), del azúcar (c) y del agua a 1440nm (d).

### Determinación no destructiva de las categorías de madurez

Las categorías de madurez (“Medio”, “Maduro” y “Sobremaduro”) establecidas previamente fueron utilizadas como referencia destructiva de

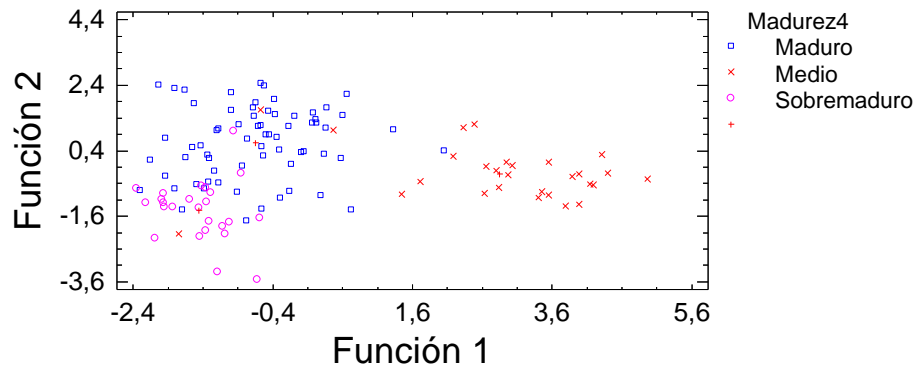
los grupos de madurez. Un análisis discriminante, paso por paso con selección hacia delante, fue empleado para determinar la capacidad de los parámetros no destructivos de clasificar en las categorías de madurez. Dicho análisis discriminante señala que entre el conjunto de las variables no destructivas, aquellas que son más discriminantes para predecir una correcta clasificación en base a la madurez y con un nivel de confianza del 95% son, el croma (C\*), tono (h\*) y luminosidad (L\*), la variable V<sub>Ax</sub> y V<sub>Ax2</sub> de la garra robótica, el pico de clorofila de la sonda espectrofotométrica. El orden de importancia que el análisis discriminario realiza para las distintas variables independientes no destructivas, sitúa en primer lugar el croma, parámetro capaz de diferenciar mangos en base a sus cambios de pureza, y dado que los cambios de la tonalidad rojo-verde (a\*) para este tipo de producto son importantes, el croma es un factor discriminario prioritario para la clasificación de mangos. Seguidamente, dicho análisis señala que los parámetros V<sub>Ax</sub> y V<sub>Ax2</sub> son los más discriminatorios a la hora de clasificar mango con a la garra robótica, lo que puede ayudar a simplificar su uso, ya que tan solo con el dedo A y su variable X sería posible clasificar correctamente los mangos en función de su madurez. Como cuarto parámetro importante señala el pico de la clorofila, el cual resulta obvio que indique como prioritario ya que a medida que el mango madura va disminuyendo su contenido en clorofila. Por último, señalaría como otras variables discriminatorias las relacionadas de nuevo con el color, y éstas serían la luminosidad y el tono, aunque su porcentaje de discriminación es más bajo que para los parámetros anteriores.

Observando la TABLA 4 se puede ver como la clasificación más correcta se realiza para los mangos sobremaduros, y ésta es correcta en un 92% y tan solo 2 mangos del total de 25 de la categoría de sobremaduros se clasificarían erróneamente como maduros y ninguno como medios. Los mangos de madurez media se clasifican correctamente en un 89,3%, clasificando únicamente un mango erróneamente como sobremaduro y 2 como maduros. Los mangos maduros se clasifican correctamente en un 76,1%, siendo el grupo peor clasificado dado que es el nivel más difícil de definir. Aún así solo un fruto maduro es clasificado erróneamente como medio, pero 15 son clasificados erróneamente como sobremaduros.

**TABLA 4.** Tabla de clasificación de los mangos en base a los análisis no destructivos.

		Predicho por categorías de madurez		
		MEDIO	MADURO	SOBREMADURO
MEDIO	Tamaño del grupo 28	25	2	1
		89,3%	7,1%	3,6%
MADURO	67	1	51	15
		1,5%	76,1%	22,3%
SOBREMADURO	25	0	2	23
		0,0%	8,0%	92,0%

En la FIGURA 9 se pueden observar la diferenciación de los tres grupos en base a los ensayos no destructivos, así determinado por el análisis discriminante.



**FIGURA 9.** Gráfica de funciones discriminantes.

## CONCLUSIONES

Las variables no destructivas obtenidas de una garra neumática de manipulación de mango, junto con las variables de color externo y del espectro visible-infrarrojo cercano, son capaces de clasificar los frutos en tres categorías de madurez, obteniéndose un 82% de frutos bien clasificados. El diseño y mejora de un dispositivo de agarre automático, junto con otras técnicas no destructivas, podría suponer un importante avance en el seguimiento, control de calidad y manejo higiénico de frutas y verduras frescas en las operaciones post-cosecha.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos MANI-DACSA (referencia RTA2012-00062-C04-02) y VIC-DACSA (referencia RTA2012-00062-C04-03).

## REFERENCIAS

- AOAC (1980) Official Methods of Analysis, (16thEd.). Association of official analytical Chemists. Washington D.C., USA.
- Báez S. R. (1998) Norma Mexicana de Calidad para Mango Fresco de Exportación. Comité Técnico Científico de Empacadores de Mango de Exportación, A. C. (EMEX, A. C.). Guadalajara, Jalisco. México. 4 p.
- Blanes, C., Mellado, M., Ortiz, C., Valera, A. (2011) Review. Technologies for robot grippers in pick and place operations for fresh fruits and vegetables. Spanish Journal of Agricultural Research, 9(4), 1130-1141.
- Bósquez Molina E. (1997) Capítulo 2. Índices de Post-cosecha. En: R. Báez Sañudo (Compilador). Manejo Post-cosecha del Mango. Empacadoras de Mango de Exportación A.C. México: 8-13.

- Eunice Ríos V.; Germán A Giraldo G.; Alba Lucia Duque C. (2007) Predicción de la Actividad del Agua en Frutas Tropicales. Revista de Investigaciones N° 17. Universidad del Quindío. Pp 27-32.
- Flores K., Sánchez M.T., Pérez-Marín D. C., López M.D., Guerrero J.E. and Garrido-Varo A. (2008) Prediction of total soluble solid content in intact and cut melons and watermelons using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 16, pp. 91-98.
- Flores K., Sánchez M.T., Pérez-Marín D.C, López M.D., Guerrero J.E. & Garrido-Varo A. (2008) Prediction of total soluble solid content in intact and cut melons and watermelons using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 16, 91-98.
- Fry S. C. (1995) Polysaccharide-modifying enzymes in the plant cell wall. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*.46: 497-520.
- Galán Saúco V. (2009) El cultivo del mango. 2ª edición. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. ISBN: 978-84-8476-367-3.
- Garrido A. (1997) Current and future applications of NIRS technology. *Options Méditerranéennes* 26, 87-92.
- Garrido A., Guerrero J.E., Gómez-Cabrera A. (1993) Posibilidades y limitaciones de la aplicación de la técnica NIRS en la evaluación nutricional de alimentos para el ganado. En *Nuevas fuentes de Alimentos para la Producción Animal IV*. Gómez-Cabrera A., De-Pedro-Sanz E.J. (Eds). Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España. pp 243-255.
- Hahn F. (2004) Mango firmness sorter. *Biosystems Engineering*, 89 (3), pp. 309-319.
- Herrero-Langreo A., Fernández-Ahumada E., Roger J.-M., Palagós B., Lleó L. (2012) Combination of optical and non-destructive mechanical techniques for the measurement of maturity in peach, *Journal of Food Engineering*, 108, 1, 150-157
- Jha S.N., Kingsly A.R.P., Chopra S. (2006) Non-destructive Determination of Firmness and Yellowness of Mango during Growth and Storage using Visual Spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 94, 3, 397-402.
- Kader A. A. (1992) Post harvest biology and technology: an overview. Kader, A. A. (ed) *Post harvest Technology of Horticultural Crops* University of California Oakland CA pp.15-20. (Publication 3 311).
- Lakshminarayana S. (1980) Mango. *Tropical and Subtropical Fruits*. Nagy, S., Shaw, P.E. (eds). AVI Publishing CT. USA. pp:184-257.
- Lalel H. J. D., Singh Z. & Tan S. C. (2003) Maturity stage at harvest affects fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds in "Kensington Pride" mango. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78(2): 225-233.
- Lebrun M., Plotto A., Goodner K., Ducampa M., Bladwin E. (2008) Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. *Postharvest Biology Technology* 48:122-131.
- Leiva-Valenzuela G. A., Lu R., Aguilera J. M. (2013) Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering*, 115, 1, 91-98.
- Lobit P., Genard M., Soing P. & Habib R. (2006) Modelling malic acid accumulation in fruits: relationships with organic acids, potassium and temperature. *Journal of Experimental Botany* 57(6): 1471-1483.
- Mahayothé B., Leitenberger M., Neidhart S., Mühlbauer W., Carle R. (2004) *ActaHortic.* 645, 581-588.
- Manjavacas M. (2012) La producción mundial de fruta tropical alcanzará 82 millones de toneladas en 2014. *Agronoticias América Latina y el Caribe*. [Consultado en Abril 22, 2014]. URL disponible en: <http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/c/159358/>
- Medlicott A. P. & Thompson A. K. (2006) Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36(7): 561:566.
- Medlicott, A. & Jeger, M. (1987) The development and application of postharvest treatments to manipulate ripening of mangoes. A review. *Commonwealth Science COUNCIL*, CH.V. pp. 56-57.

- Mendoza D.B. & Wills R.H.B. (1984) Mango: Fruit postharvest physiology and marketing in ASEAN. Assn. Southeast Asian Nations Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, Malasia. 111p.
- Padda M. S., do Amarante C. V. T., Garcia R. M., Slaughter D. C., Mitcham E. J. (2011) Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach, *Postharvest Biology and Technology*, 62, 3, 267-274.
- Peiris K.H.S., Leffler R.G., Dull G.G., Kays S.J. (1998) Nondestructive determination of soluble solids content of peach by Near Infrared Spectroscopy. In *Sensors for Nondestructive Testing*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES). Ithaca, New York, pp. 77-87.
- Pérez B., Bringas E., Cruz L., Báez Sañudo R. (2003) Aplicación de cera comestible en mango. Parte I: Efecto en las características físico- químicas durante el almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Post-cosecha*, vol. 5, núm. 2, pp. 100-112, Asociación Iberoamericana de Tecnología Post-cosecha, S.C.México.
- Petterson A., Davis S., Gray J.O., Dodd T.J., Ohlsson T. (2010) Design of a magnetorheological robot gripper for handling of delicate food products with varying shapes. *J. FoodEng.* 98 (3), 332-338.
- Rathore H. A., Masud T., Sammi S. & Soomro A. H. (2007) Effect of storage on physicochemical composition and sensory properties of mango (*Mangifera indica* L.) variety Dosehari. *PakistanJournal of Nutrition* 6(2): 143-148.
- Reid M. S. (2002) Maturation and maturity indices. *Postharvest technology of horticultural crops*, 55-62 A. A. Kader, ed. Univ. of California, Oakland, CA, USA: ANR Publication 3311.
- Ruiz-Altisent M., Ruiz-Garcia L., Moreda G.P., Lu R., Hernandez-Sanchez N., Correa E.C., Diezma B., Nicolaï B., García-Ramos J. (2010) Sensors for product characterization and quality of specialty crops—A review, *Computers and Electronics in Agriculture*, 74, 2, 176-194.
- Russión T. y Manzano J. (2003) Influencia de la temperatura sobre la calidad del fruto del mango "Pico de Loro" durante el almacenamiento. *Agronomía Tropical* 53(1): 59-72.
- Thangaraj T. & Irulappan I. (1989) Studies on the maturity standards for mango fruit. *South Indian Hort.* 37, 341–343.
- Todd, E.C.D., Michaels, B.S., Smith, D., Creig, J.D., Bartleson, C.A. (2010). Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 9. Washing and drying of hands to reduce microbial contamination. *J. Food Protection* 10(19), 1937-1955.
- UNE 34211:1981.Productos derivados de frutas y verduras, determinación de la acidez valorable.
- UNE 34212:1981. Productos derivados de frutas y verduras, determinación del pH.
- Valente M., Leardi R., Self G., Luciano G., Pierre J. (2009) Multivariate calibration of mango firmness using vis/NIR spectroscopy and acoustic impulse method. *Journal of Food Engineering*, 94, pp. 7-13.
- Vázquez-Salinas C. & Lakshminarayana (1985) Compositional Changes in Mango Fruit During Ripening at Different Storage Temperatures. *Journal of Food Science* 50(6): 1646-1648.
- Vélez-Rivera N., Blasco J., Chanona-Pérez J. J., Calderón-Domínguez G., Perea-Flores M. J., Arzate-Vázquez I., Cubero S., Farrera-Rebollo R. (2014) Computer vision system applied to classification of 'Manila' mangoes during ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1183-1194.
- Yashoda H. M., Prabha T. N., Tharanathan R. N. (2005) Mango ripening: chemical and structural characterization of pectic and hemicellulosicpolysaccharides. *Carbohydrate Research* 340:1335-1342.
- Zhi X., Zhang Y., Hu X. S., Wu J. H. & Liao X. J. (2008) Inactivation of Apple pectin methylesterase by dense phase carbón dioxide. *Journal of agricultural and food chemistry*. 56: 5394-5400.