

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA  
I DEL MEDI NATURAL

## CARACTERIZACIÓN DE LA TEXTURA DE MUESTRAS DE PLÁTANO MEDIANTE EL ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO BASADO EN EL ESTUDIO DE PATRONES LASER

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

AUTORA: AMANDA MARTI SALA

TUTOR: RAÚL GRAU MELÓ

DIRECTOR EXPERIMENTAL: SAMUEL VERDÚ AMAT

**CURSO ACADÉMICO: 2020-2021**

**VALENCIA, junio 2021**



# CARACTERIZACIÓN DE LA TEXTURA DE MUESTRAS DE PLÁTANO MEDIANTE EL ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO BASADO EN EL ESTUDIO DE PATRONES LASER

## RESUMEN

El estudio y conocimiento de la textura como propiedad física del alimento es de suma importancia para determinar la aceptabilidad del mismo, así como las propiedades para ser transformado. Existen diferentes técnicas para analizar la textura, pero todas ellas se llevan a cabo mediante análisis de textura destructivos, por ello resulta de interés avanzar en el desarrollo de técnicas de evaluación no destructivas. En el siguiente trabajo se planteó aplicar la técnica de análisis de imagen de patrones láser para la caracterización no destructiva de la textura de muestras de plátano. La aplicación de esta técnica se basó en hacer incidir la luz coherente de un láser sobre una muestra de plátano, de forma que la interacción de esta con la matriz fuera capturada en imágenes digitales. Los patrones de luz generados en la interacción fueron analizados posteriormente mediante el uso de descriptores obtenidos tras la realización de un procesamiento de las imágenes.

Para llevar a cabo la experiencia se utilizaron plátanos estudiados en 8 momentos diferentes de su maduración, con una separación por tiempo de 3 días. La forma de análisis fue en lonchas transversales de 1 cm de espesor. Cada día de toma de muestra se realizaron tanto los análisis de textura como de imagen sobre las mismas muestras. Los resultados obtenidos demostraron como el análisis de patrones de dispersión láser permitió caracterizar el estado de maduración de las muestras de plátano, aportando información del estado del tejido a través del tiempo y de la zona del fruto. La evolución de los datos de imagen presentó un comportamiento similar a la observada para la dureza, lo que permitió generar un modelo de calibración ( $R^2=0,93$ ) entre ambos grupos de datos, evidenciando una dependencia alta de ambas variables.

**PALABRAS CLAVE:** análisis de imagen, textura, patrones láser, maduración, plátano

**Autor:** Marti Sala, Amanda

**Tutor:** Grau Meló, Raúl

**Director experimental:** Verdú Amat, Samuel

**Valencia, junio de 2021**



# CHARACTERIZATION OF THE TEXTURE OF BANANA SAMPLES BY NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS BASED ON THE STUDY OF LASER PATTERNS

## ABSTRACT

In the following work, it has been proposed to apply the laser pattern analysis technique for the non-destructive characterization of the texture of banana samples. The application of this technique is based on making the coherent light of a laser fall on the sample, in such a way that this laser interacts with the food matrix, generating light patterns that will be analyzed later by using descriptors and variables obtained from these. patterns and the pixels that make up the images.

The study and knowledge of the texture as a physical property of the food is of utmost importance to determine its acceptability. The consumer prefers those foods that are sensory pleasing. Texture is a major driver of consumer preferences. There are a multitude of techniques to analyze the texture, but all of them are carried out through destructive texture analysis, so it is interesting to be able to evaluate the texture of the banana and even the different areas of it as ripening increases, through non-destructive analysis. as are the image analysis.

To carry out the experiment, bananas from the Canary Islands of protected geographical indication variety Cavendish were used. The study was carried out at 8 different times, with a time separation of 3 days. For this, 4 banana meshes were available with 6 bananas per mesh, where 3 plantains were used per day (time). The 2 ends were removed from each banana so that the section was constant and homogeneous, and they were cut into 1 cm thick cross-sectional slices. The 2 analyzes were carried out on the same day, the image analysis with coherent light and texture, starting with non-destructive analyzes and finally destructive ones.

The results obtained have shown how the analysis of laser scattering patterns allows characterizing the ripening state of banana samples, providing information on their texture in a non-destructive way. In addition, they have shown, to be able to distinguish the different areas of the banana. Thus, the descriptors obtained from the information from the analysis of the images of the laser patterns and their reduction to a single main component correlate very well with the texture values. This relationship has allowed, in a theoretical way, to obtain models that can predict what the texture will be.

**KEYWORDS:** image analysis, texture, patterns laser, maturation, banana

**Author:** Marti Sala, Amanda

**Academic tutor:** Grau Meló, Raúl

**Experimental director:** Verdú Amat, Samuel

**Valencia, june 2021**



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a mi tutor Raúl Grau Meló y a mi director experimental Samuel Verdú Amat quienes además de transmitirme sus conocimientos, me han ayudado y orientado en este proyecto.

En segundo lugar, a mi padre y a mi madre que han estado a lo largo de toda mi carrera apoyándome en todo momento y animándome a seguir adelante.

Y por último transmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a lo largo de esta etapa y han colaborado en esta investigación.



<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3.1 Materia prima .....	3
3.1.1 Plátano .....	3
3.2 Análisis de textura .....	3
3.3 Dispositivo de captura de imagen.....	3
3.4 Procesamiento de imágenes y extracción de datos .....	4
3.5 Análisis estadístico.....	7
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	7
4.1 Análisis textura .....	7
4.2 Análisis imagen.....	10
4.3 Estudio de calibración entre datos de textura e imagen .....	12
5. CONCLUSIONES .....	14
6. BIBLIOGRAFÍA.....	15

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Página</b>
<b>FIGURA 1</b> Representación del dispositivo de captura de imagen Láser.	4
<b>FIGURA 2</b> Patrón real de luz laser generado al incidir la luz con las muestras de plátano. Exposición alta (A), media (B) y baja (C).	5
<b>FIGURA 3</b> Procesamiento de imagen. Ejemplos de umbralización para las tres exposiciones utilizadas. Los intervalos marcados en las columnas indican los rangos de grises. E: exposición.	6
<b>FIGURA 4</b> Representación de distribuciones de datos de textura de grupos muestrales expresados en dureza (N).	8
<b>FIGURA 5</b> Categorización de grupos muestrales tras un análisis de la Varianza. Diferentes colores indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).	9
<b>FIGURA 6</b> Variación de dureza en diferentes zonas del plátano.	10
<b>FIGURA 7</b> Valores del PC1 para cada grupo muestral.	11
<b>FIGURA 8</b> Variación de los valores de PC1 en diferentes zonas del Plátano.	11

<b>FIGURA 9</b>	Espacio de varianza generado por LV1 y LV3 tras un análisis de regresión de los datos de imagen vs dureza con PLS-R.	13
<b>FIGURA 10</b>	Relación datos de imagen (LV1) vs dureza sin diferenciar (A) y categorizadas por grupos (B).	14

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente unas de las exigencias más importantes en la industria alimentaria es la de satisfacer la creciente demanda de garantías en todos los aspectos relacionados con la calidad del producto. La tendencia de los consumidores es buscar la mejor relación calidad-precio. Por ello, la mejora continua de la calidad y la seguridad es un aspecto fundamental que refuerza e incrementa la capacidad de organización para satisfacer a los clientes y aumentando su satisfacción a través de la mejora de procesos.

Los métodos tradicionales más utilizados en el control de calidad de los productos pueden llegar a ser lentos y requerir de formación técnica específica. Normalmente requieren de un proceso de muestreo que represente cada lote, el cual es analizado posteriormente en un laboratorio. Para realizar los distintos análisis es habitual recurrir a métodos destructivos de la muestra, por lo que no puede aplicarse a una producción completa. El desarrollo de diversas tecnologías introducen con frecuencia métodos de análisis sofisticados mediante el uso de técnicas no destructivas que permiten agilizar dichos análisis y obtener mayor representatividad en los mismos. Gracias a estas técnicas, se han producido importantes mejoras en aspectos claves como seguridad, economía, previsión de tiempos y adecuación de los procesos. Existe una gran variedad de técnicas no destructivas aplicadas a diferentes campos como; la espectroscopia de reflectancia en el Infrarrojo cercano que se emplea tanto en el ámbito químico, farmacéutico o, incluso, en biomedicina (Perez *et al.*, 2021), el uso de ultrasonidos para la caracterización de frutas y verduras (Mengod *et al.*, 2020) o la monitorización del proceso de congelación-descongelación de atún (Llave *et al.*, 2014), etc. En este campo, el análisis de imagen presenta una gran variedad de técnicas debido a la versatilidad de sus elementos y a la posibilidad de combinarlos en diferentes configuraciones. Algunas de las ventajas más importantes son la capacidad de automatización total y análisis in-line. Dichas técnicas permiten la posibilidad de detectar propiedades específicas de los productos de forma simultánea. Además, las técnicas de imagen pueden combinarse con otras basadas en fundamentos diferentes (Chen *et al.*, 2013).

El análisis de patrones de dispersión láser es una de las muchas herramientas no destructivas de análisis de imagen. Consiste en hacer incidir una luz coherente (láser) sobre la muestra, de forma que esta interaccione con la matriz del producto. Dicha interacción genera patrones de difracción que son capturados mediante imágenes digitales para ser transformados en datos y analizados posteriormente. Estos datos se extraen de propiedades (descriptores) del patrón capturado, buscando seleccionar aquellas que recojan la varianza generada por los factores que afecten al proceso en cuestión. Esta técnica cuenta con las ventajas de ser no destructiva, de capturar gran cantidad de datos en poco tiempo y de forma simultánea, y de presentar un coste reducido (Fulladosa *et al.*, 2017). El análisis de imagen de retrodispersión láser ha sido utilizado en campos muy variados como: el uso de la fluorescencia de rayos x en arte y arqueología (Roldán y Ferrero, 2008), la odontología para la detección de caries (Darling *et al.*, 2006) y concretamente en alimentos para la determinación del contenido en sólidos solubles y firmeza en manzanas (Qing *et al.*, 2008), evaluar las propiedades reológicas de cremas de vegetales (Verdú *et al.*, 2019c), de galletas con diferentes contenidos en fibra (Verdú *et al.*, 2019a), monitorizar la textura de la leche durante la fermentación del yogurt (Verdú *et al.*, 2019b) o el cuajado del queso (Verdú *et al.*, 2020), etc.

En el caso del plátano, la calidad del producto final depende de muchos factores, algunos ambientales y otros directamente relacionados con la gestión del producto. Desde el punto de vista del consumidor, el grado de maduración es el factor que más se relaciona con la calidad de la fruta. Por ello es importante conocer todos los cambios

en la respiración, sabor, aroma, textura y color que ocurren durante la misma. Cuando se habla de maduración en este caso, se refiere a la maduración de consumo u organoléptica que es cuando todas las características sensoriales propias son completas y armónicas, para su consumo. Estos cambios se caracterizan por una secuencia de cambios físicos, químicos, bioquímicos y metabólicos que permiten al fruto alcanzar sus atributos sensoriales (forma, color, sabor, aroma, textura) característicos de la especie (Wills, 1981). Este proceso depende de un delicado y complejo equilibrio entre hormonas inductoras de la maduración (etileno y ácido abscísico) e inhibitoras (auxinas, citocinas y giberelinas) que regulan los mecanismos bioquímicos. La maduración en el plátano está marcada por el aumento de las tasas de producción de etileno y CO<sub>2</sub> y por la conversión de cantidades relativamente grandes de carbono en forma de almidón en sustancias que alteran la percepción del sabor de la fruta (Ordoñez, 2005). La respiración puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones sintéticas celulares (Demerutis, 1996). El plátano presenta un tipo de respiración climatérica donde la tasa de respiración es más elevada cuando el fruto es verde y va disminuyendo a medida que la maduración prosigue. Cuando se habla del sabor se hace referencia al dulzor y este mismo aumenta a medida que lo hace la maduración, esto es debido a la actividad enzimática donde se hidroliza el almidón en azúcares simples como la sacarosa, glucosa y fructosa y a su vez disminuyen los ácidos desapareciendo la astringencia y el sabor agrio. En cuanto al aroma los compuestos volátiles más comúnmente sintetizados durante la maduración de frutos son los ésteres de alcoholes alifáticos y ácidos grasos de cadena corta (Ordoñez, 2005). La producción de ésteres, responsables por el aroma del plátano, empieza inmediatamente después de ocurrir el pico en la actividad respiratoria y aumenta a medida que la demanda de energía requerida para convertir el almidón en azúcares se aproximó a cero (Song y Beaudry, 1987). Por otra parte, todos estos procesos se ven reflejados en las propiedades de la matriz, la cual se ve afectada principalmente en términos de textura. En general, la dureza disminuye a medida que aumenta la maduración, esto es debido al efecto de las enzimas sobre la pectina y el almidón, ocurriendo diversos factores como la degradación de la protopectina a fracciones de peso molecular más bajo haciéndola más soluble en agua, cambios en la pared celular compuesta por carbohidratos de cadena larga divididos en sustancias pécticas (protopéctinas), hemicelulosas y celulosas. En estas cadenas, el calcio (Ca) es componente importante de las uniones entre los grupos carboxílicos, reforzando los componentes estructurales de la célula; la ruptura de estas uniones es uno de los factores que inciden en la maduración y ablandamiento de los frutos y el movimiento de agua desde la corteza o cáscara hacia la pulpa del fruto debido al proceso de ósmosis (Azcón-Bieto y Talón, 2009). Estas modificaciones en la matriz afectan intensamente a las propiedades del producto, no solo fresco, sino también a los posibles procesos de transformación aplicados a derivados.

Así pues, el estudio y conocimiento de la textura como propiedad física del alimento es de suma importancia para determinar las aptitudes del producto.

Hasta el momento, son limitadas las relaciones entre este atributo de calidad y mediciones instrumentales que hayan sido estudiados en el plátano. En otras frutas, la mayoría de los estudios han demostrado relaciones razonables entre las propiedades de textura sensorial y mediciones reológicas incluyendo la perforación, compresión, esfuerzo cortante y ensayos de relajación (Harker *et al.*, 2002; Mehinagic *et al.*, 2004). En el plátano, las pruebas de punción han sido los ensayos reológicos más utilizados para describir las diferencias texturales (Cano *et al.*, 1997, Salvador *et al.*, 2007; Bugaud *et al.*, 2009; 2011), y en menor medida, se han puesto en práctica los análisis de perfil de textura (TPA) (Bugaud *et al.*, 2013; Kajuna *et al.*, 1997).

Existen multitud de técnicas para analizar la textura, pero todas ellas se llevan a cabo mediante análisis de textura destructivos, por ello es interesante poder evaluar la textura del plátano e incluso las diferentes zonas del mismo a medida que aumenta la maduración, mediante análisis no destructivos como son los análisis de imagen que permitan controlar este atributo sin destruir la muestra en aras a poder ser utilizadas para su consumo en fresco o transformación.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio es evaluar la capacidad de la técnica de imagen basada en el análisis de patrones de dispersión láser para la caracterización de la textura de muestras de plátano.

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Materia prima**

#### **3.1.1 Plátano**

Para el presente estudio se utilizaron plátanos de canarias de indicación geográfica protegida variedad Cavendish. El estudio se realizó sobre dos lotes de 12 plátanos mediante diferentes muestreos en 4 puntos temporales diferentes (0, 3, 6 y 9 días) desde la fecha de compra. Así, fueron 8 puntos diferentes de muestreo (3 plátanos por muestreo), generando 8 grupos muestrales.

Los plátanos se analizaron tras ser procesados. Cada plátano se dividió en 6 secciones de 1cm de espesor, previa eliminación de los 2 extremos para conseguir secciones constantes. Las muestras fueron analizadas de forma individual el mismo día tanto para imagen como para textura.

#### **3.2 Análisis de textura**

La experiencia se realizó en un analizador de textura TA-TX2 texture analyzer (Stable Micro Systems, Surrey, UK), equipado con una célula de carga de 25 kg. El software empleado fue Exponent (Stable Micro Systems Ltd, version 6.1.11.0). Se realizó una compresión con el objetivo de obtener la respuesta de resistencia del tejido expresada como dureza (N).

Para ello se utilizó una plataforma de compresión de aluminio cilíndrica con 75mm de diámetro, donde el émbolo comprime de forma uniaxial cada muestra para simular el efecto de la mandíbula.

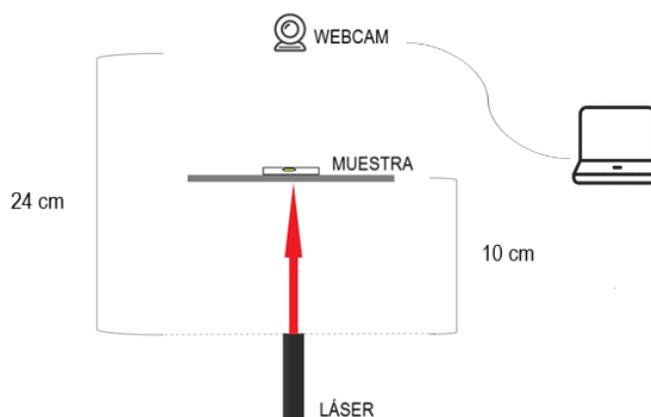
#### **3.3 Dispositivo de captura de imagen**

El dispositivo utilizado estuvo basado en trabajos anteriores en los cuales la técnica se aplicó al estudio no destructivo de propiedades de diferentes matrices alimentarias (Verdú *et al.*, 2019). Este estuvo formado por una cámara digital (Logitech C922 Pro Stream Webcam) como sistema de captura de imágenes, un puntero láser de 650nm, 3mm de diámetro, con una potencia de 50mW, y una plataforma intermedia para la colocación de la muestra a analizar. La utilización de iluminación láser presenta la ventaja de ser una luz estructurada, lo que significa que: está formada por una única

longitud de onda, mantiene los fotones en fase y unidireccionados. Estas propiedades permiten tener un alto control en el estudio de la interacción luz-matriz, ya que cualquier cambio detectado es atribuible a modificaciones fisicoquímicas de la misma y no a variaciones en la iluminación.

Los elementos se colocaron en el interior de una cabina oscura con el objetivo de proteger el entorno de análisis de posibles interacciones con luz externa. La disposición de los elementos en el interior de la cabina se muestra en la Figura 1. En este caso, las imágenes estudiadas fueron el resultado de la transmisión de la luz láser a través de la matriz del plátano desde la parte inferior hasta la superficie. Por ello, el láser se dispuso en la parte inferior, coincidiendo con la zona central de la muestra y con el campo de visión de cámara situada en la parte superior.

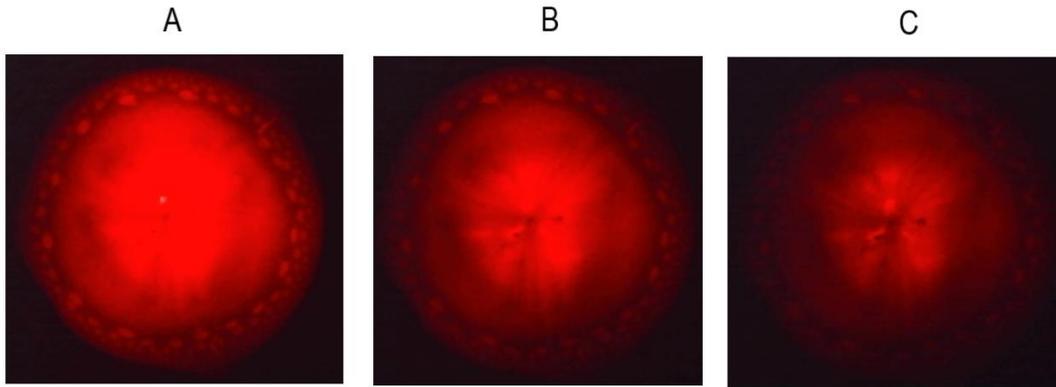
De esta forma, la transmisión de luz hasta la superficie de la muestra permitió capturar los patrones de difracción generados de forma individual. La distancia de la cámara respecto al láser fue de 24 cm y la de la muestra de 10 cm (Figura 1). Se capturaron tres imágenes de cada muestra, correspondientes a tres niveles de exposición de luz diferentes: alto, medio y bajo, con el objetivo de evitar pérdidas de información de diferentes zonas del tejido debidas a saturación del sensor de la cámara o, por el contrario, falta de iluminación.



**FIGURA 1.** Representación del dispositivo de captura de imagen Láser.

### 3.4 Procesamiento de imágenes y extracción de datos

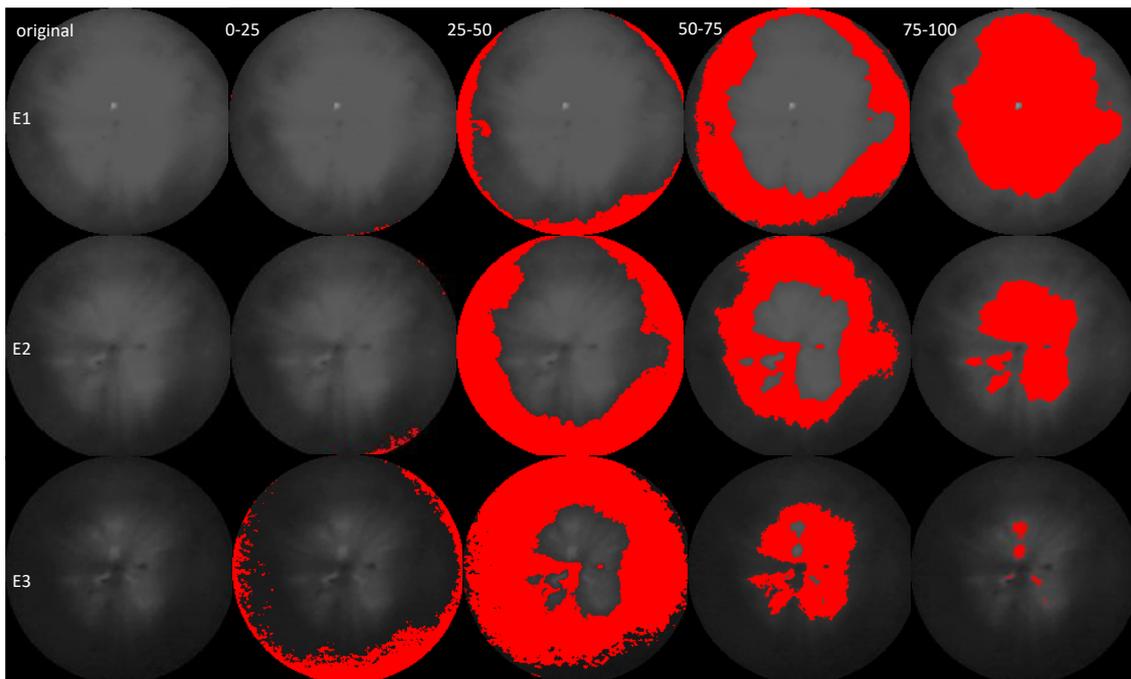
Tras la captura, recogida y agrupación de imágenes (Figura 2), se realizó el procesamiento de las mismas con el objetivo de extraer los datos correspondientes a los descriptores utilizados para estudiar cada patrón de dispersión. A partir de estos, se generó una matriz de datos como base para la realización de los análisis estadísticos correspondientes.



**FIGURA 2.** Patrón real de luz laser generado al incidir la luz con las muestras de plátano. Exposición alta (A), media (B) y baja (C).

El procesado de las imágenes se basó en los siguientes pasos:

1. *Conversión a escala de grises:* con la finalidad de reducir el volumen de información de las imágenes, estas se convirtieron de formato RGB a escala de grises (8 bits, 255 valores de gris).
2. *Selección de la zona central de la muestra (región de interés):* recorte de la zona central de la imagen, correspondiente a la zona de interacción principal del láser con el tejido, además de las zonas contiguas hasta la corteza. Con ello se eliminaron las zonas de la imagen sin interés para evitar ruido y reducir variabilidad.
3. *Selección de áreas en diferentes umbrales de gris:* esta operación se centró en seleccionar las áreas de píxeles correspondientes a diferentes rangos de valores de gris (0-255), con el objetivo de fragmentar la información de las diferentes intensidades de luz generadas en el patrón de difracción (Figura 3). Los rangos establecidos fueron de 25 valores de gris, siendo diez el número total de los mismos (0-25; 25-50; 50-75; 75-100; 100-125; 125-150; 150-175; 175-200; 200-225; 225-255).



**FIGURA 3.** *Procesamiento de imagen. Ejemplos de umbralización para las tres exposiciones utilizadas. Los intervalos marcados en las columnas indican los rangos de grises. E: exposición.*

4. *Análisis de áreas segmentadas y extracción de datos:* en este paso se extrajeron los datos referentes a los descriptores de las áreas generadas en el punto anterior. Estos descriptores fueron seis, y se basaron en la medida de diferentes propiedades:
  - a. *Recuento de partículas:* indica el número de grupos de pixels son conexión entre ellos.
  - b. *Tamaño medio de partícula:* indica el tamaño medio de los grupos.
  - c. *Área total:* indica el área total medida, en píxeles, que tiene la selección en cuestión.
  - d. *Valor gris medio:* indica el valor de gris medio del área seleccionada (intensidad media).
  - e. *Valor gris moda:* indica el valor de gris más repetido del área seleccionada.
  - f. *Perímetro:* indica el perímetro total del área seleccionada.

Así, los descriptores indicados fueron extraídos para cada rango de gris (10 rangos) y para cada nivel de exposición (3 niveles). El procesado de las imágenes generó como resultado 180 (10 rangos x 3 intensidades x 6 descriptores) descriptores de imagen (variables dependientes) de cada muestra de plátano, los cuales fueron ordenados y almacenados en una matriz de datos multivariante para su posterior análisis estadístico. Para realizar este procesado se utilizó el software ImageJ.

### **3.5 Análisis estadístico**

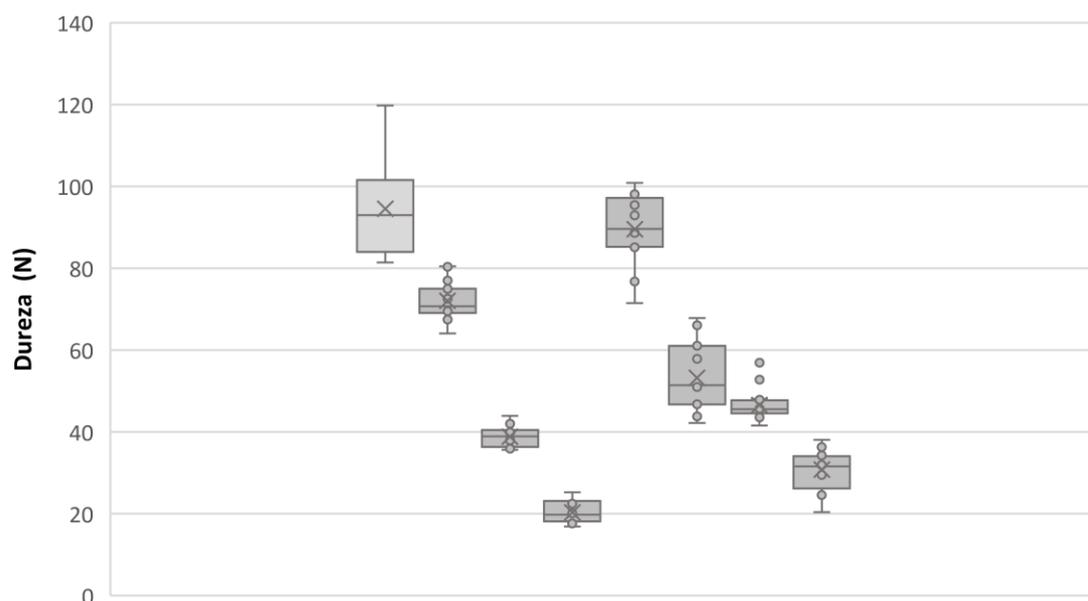
Los resultados procedentes del análisis de textura se analizaron a través de un análisis de la varianza ANOVA para determinar diferencias significativas generadas entre los grupos muestrales ( $p$ -valor $<0.05$ ). El software utilizado fue Statgraphics Centurion XVII.II versión 17.2.04.

Dada la gran cantidad de datos generados a partir de los descriptores de imagen, se utilizaron métodos estadísticos multivariantes con el fin de reducir la dimensionalidad de los mismos y facilitar su interpretación de la información obtenida. Estos métodos fueron el Análisis de Componentes Principales (PCA), el cual se basa en el análisis de la interdependencia de las variables utilizadas con el fin de reducir su dimensionalidad a unas pocas variables sintéticas llamadas componentes principales (PCs) que mantienen la varianza de las variables originales. Por otra parte, la relación entre la textura y los datos de imagen se llevó a cabo mediante la Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-R). Esta técnica tiene también como objetivo reducir la dimensionalidad de datos multivariantes (imagen) pero en este caso forzada por la varianza contenida en una variable problema (dureza), reportando un coeficiente de correlación entre ambos bloques de datos. Para realizar estos estudios se usó la herramienta PLS Toolbox 6.3 (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, Washington, USA), una extensión en el ambiente computacional R2012a (The Mathworks, Natick, Massachusetts, USA).

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Análisis textura**

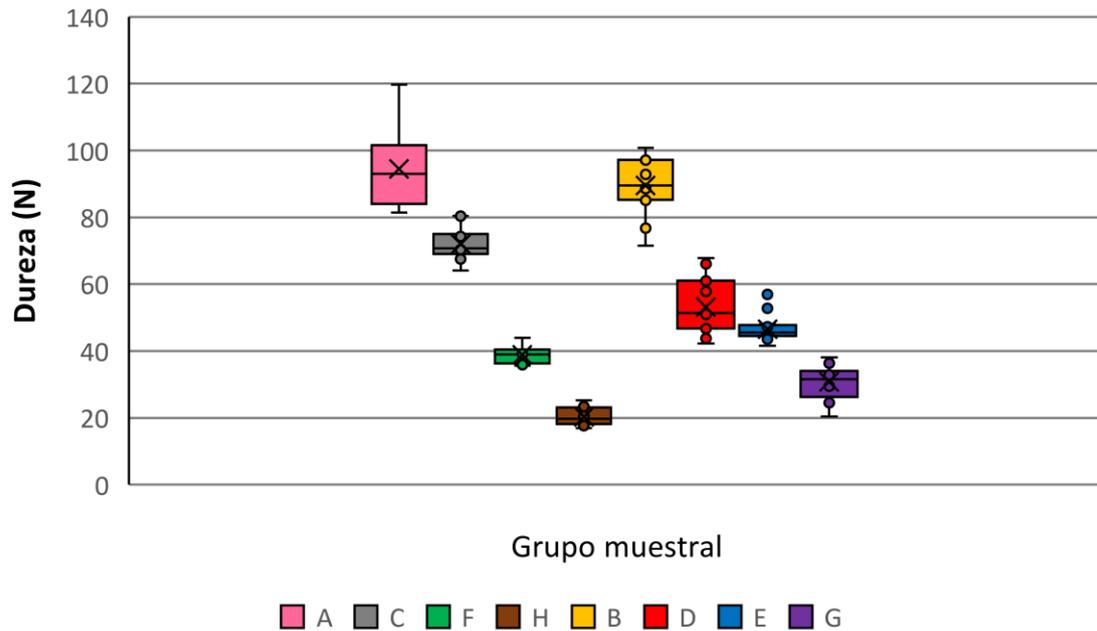
Tras realizar los estudios de textura, se procedió a analizar las distribuciones de datos mediante un gráfico de cajas y bigotes (Figura 4). Este diagrama representa de forma gráfica la distribución de los valores de dureza expresados en N para cada grupo muestral. Los resultados se presentan en el mismo orden temporal del análisis. Se puede observar como la textura del plátano disminuye con el tiempo para cada réplica del experimento. Sin embargo, se observaron texturas diferentes para cada día de muestreo independientemente del momento de medida. Esto se debió a que, aunque los tiempos de análisis fueron los mismos para las dos series de plátanos, se desconoce a  $t=0$  cual es el estado real de madurez de la materia prima y, por lo tanto, el mismo tiempo transcurrido para ambos lotes dio texturas diferentes.



**FIGURA 4.** Representación de distribuciones de datos de textura de grupos muestrales expresados en dureza (N).

Esta reducción de la textura es debida al efecto de las enzimas sobre la pectina y el almidón de la matriz del plátano. En este proceso ocurren diversos fenómenos tales como la degradación de la protopectina a fracciones de peso molecular más bajo haciéndola más soluble en agua. También se dan cambios en la pared celular compuesta por carbohidratos de cadena larga divididos en sustancias pécticas (protopéctinas), hemicelulosas y celulosas, donde en estas cadenas, el calcio (Ca) es un componente importante de las uniones entre los grupos carboxílicos, contribuyendo a reforzar los componentes estructurales de la célula y la ruptura de estas uniones incide en la maduración y ablandamiento de los frutos y por último el movimiento de agua desde la corteza o cáscara hacia la pulpa del fruto debido al proceso de ósmosis (Azcón-Bieto y Talón, 2009).

Así, debido a que cada tiempo es independiente, es decir no se sabe el punto de maduración en concreto en el momento de la compra del producto, se procedió a categorizar las muestras en función de las diferencias significativas observadas tras realizar un análisis de la varianza (ANOVA). El resultado del análisis mostró diferencias significativas entre todos los grupos muestrales. Así pues, se recategorizaron con etiquetas ordenándolas de mayor a menor dureza (Figura 5).

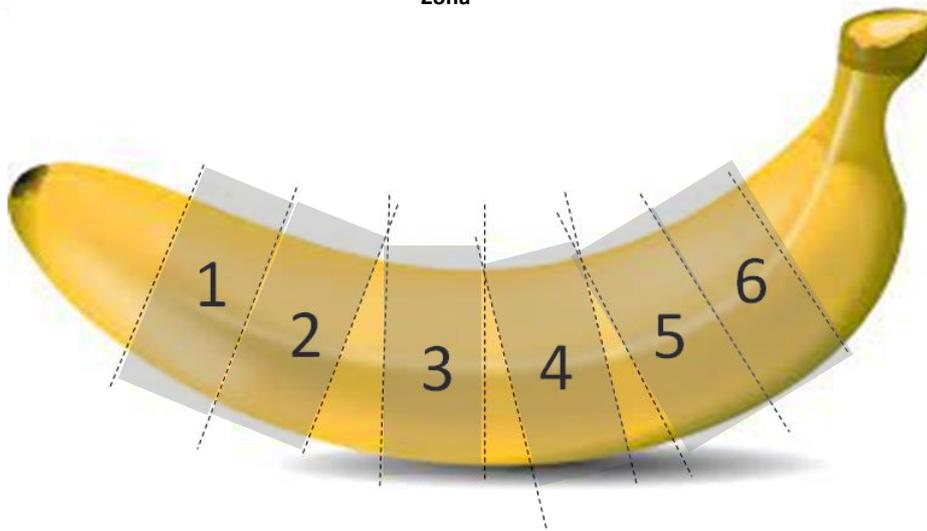
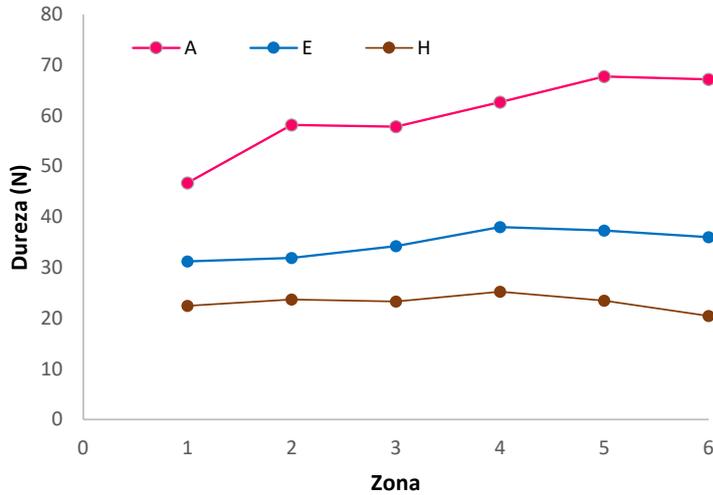


**FIGURA 5.** Categorización de grupos muestrales tras un análisis de la varianza. Diferentes colores indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).

Por otra parte, analizando la dispersión dentro de cada grupo, se observó una tendencia de reducción de la misma con el paso del tiempo. Es decir, la maduración del plátano no solo produjo la reducción de la dureza media de un grupo en concreto, sino que también la reducción de la dispersión de texturas dentro del mismo. Esto significaría que, el plátano en etapas iniciales de almacenamiento presentó diferentes texturas en función de la zona analizada, aumentando así la dispersión. Por lo tanto, el proceso de maduración produjo una reducción generalizada de la dureza que conllevó a la homogenización de la textura a lo largo de la estructura del producto.

Para evidenciar este efecto, se procedió a estudiar la relación entre la textura de las muestras del plátano y las zonas del mismo. La Figura 6 muestra un gráfico de tres plátanos pertenecientes a tres grupos diferentes, uno central (E) y dos extremos (A y H). Se puede observar para el plátano del grupo A, como en la región superior, región más próxima al pedúnculo (zonas 6,5 y 4), la textura fue mayor que en la región inferior (zonas 1,2 y 3), mientras que en los otros dos casos esta tendencia es menor o inexistente.

Esto es debido a que, en la zona del pedúnculo, el almidón es más resistente, siendo el efecto de las enzimas menor a corto plazo, resultando una zona más resistente en lo que respecta a la zona inferior. Por ello este fenómeno es más apreciable cuando el plátano es poco maduro (categorías A), menos apreciable para el central (categoría E) y prácticamente inapreciable cuando el plátano es maduro (categoría H). Es decir, el efecto zona se observa perfectamente cuando el plátano es verde y a medida que avanza el tiempo el efecto zona disminuye.

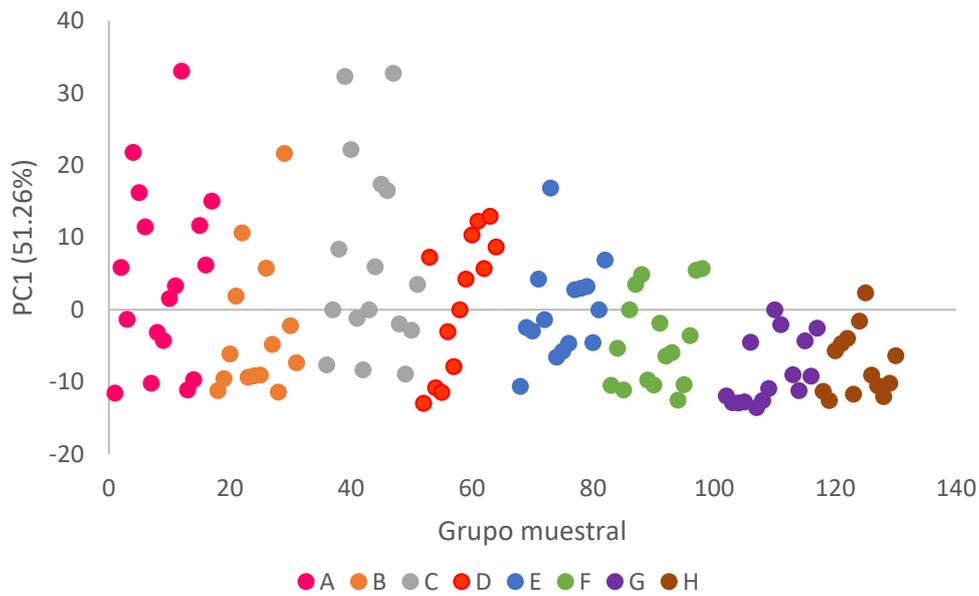


**FIGURA 6.** Variación de dureza en diferentes zonas del plátano.

#### 4.2 Análisis imagen

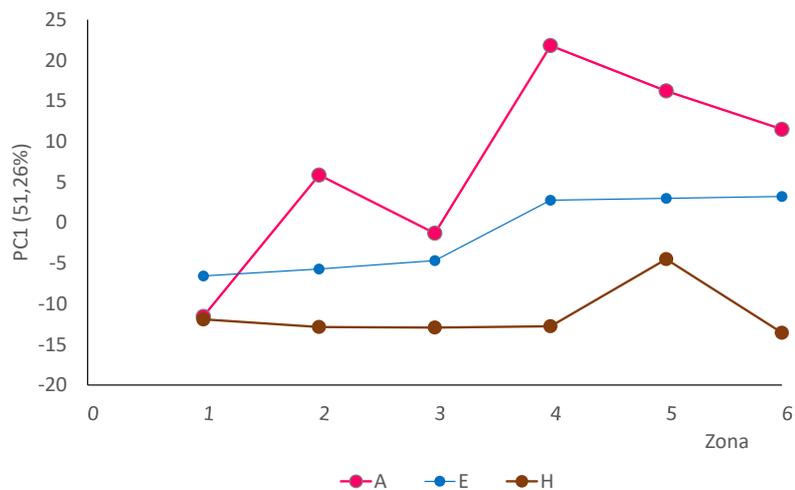
Tras la toma de imágenes y su posterior procesado, se extrajeron los datos correspondientes a los descriptores indicados anteriormente. Estos se organizaron en una matriz multivariante para su posterior análisis siguiendo el orden (categorización) obtenido tras el análisis de los datos de textura (Figura 5). Así, todas las variables de la matriz de datos se analizaron de forma simultánea mediante PCA con el objetivo de reducir la dimensionalidad de la misma manteniendo la varianza.

El resultado del PCA mostró un 51,26% de varianza capturada para el componente principal 1 (PC1). El resto de componentes no fueron tenidos en cuenta ya que el patrón de evolución de los datos observada en el primero seguía la misma tendencia observada previamente en el estudio de textura. Los datos de PC1 se muestran en la Figura 7. Como se observa, la dispersión dentro de los grupos muestrales disminuye con la reducción de la textura, siguiendo el orden preestablecido en los grupos de muestras.



**FIGURA 7.** Valores del PC1 para cada grupo muestral.

Tras evidenciar el paralelismo de los datos de imagen dentro de cada grupo de muestras con los observados en el análisis de textura, se estudió del mismo modo la posible heterogeneidad de los datos de imagen teniendo en cuenta las diferentes zonas del plátano. La Figura 8 muestra los datos del PC1 para tres plátanos de tres grupos de textura diferentes. Del mismo modo que en los resultados de textura, se observaron diferencias de la respuesta de imagen en las diferentes zonas del plátano para el perteneciente al grupo de mayor dureza (Categoría A). Estas diferencias entre zonas fueron reduciéndose a medida que avanzaba la madurez, siendo mínimas para el plátano categoría intermedia E e inexistentes para el plátano maduro (categoría H).



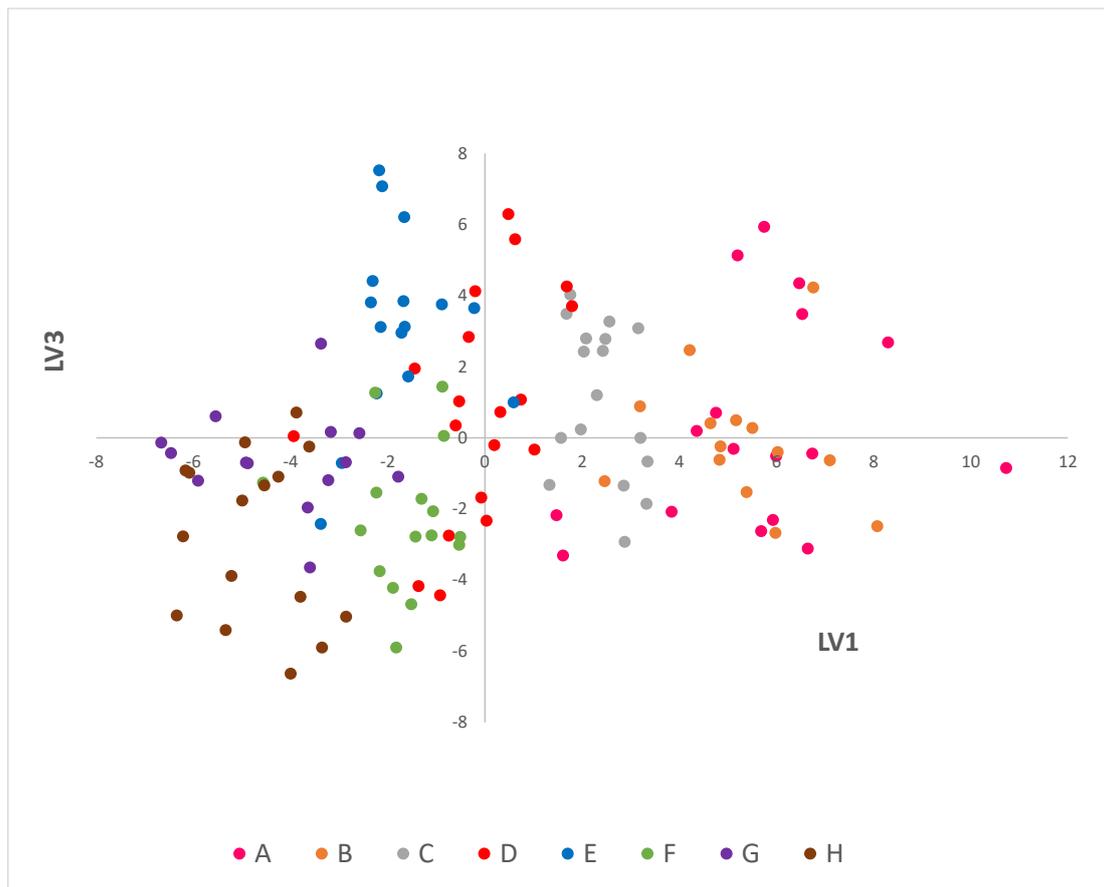
**FIGURA 8.** Variación de los valores de PC1 en diferentes zonas del plátano.

El análisis de los datos de imagen mostró una relación con los datos de textura, tanto en el efecto del tiempo de madurado como en el efecto de la zona del plátano. Es decir, la varianza recogida tanto en el análisis de textura como en el análisis de imagen se vio afectada por el efecto del tiempo de madurado y por el efecto de la zona de los plátanos. Este resultado evidenció la dependencia de ambos grupos de datos de las modificaciones que sufre la matriz del producto durante el almacenamiento. Así, dicha relación fue estudiada con el objetivo de evaluar la posibilidad de modelizar la dependencia entre ambos bloques de datos y con ello poder general un modelo de calibración que relacionase los cambios en textura con los capturados mediante la técnica de imagen.

### **4.3 Estudio de calibración entre datos de textura e imagen**

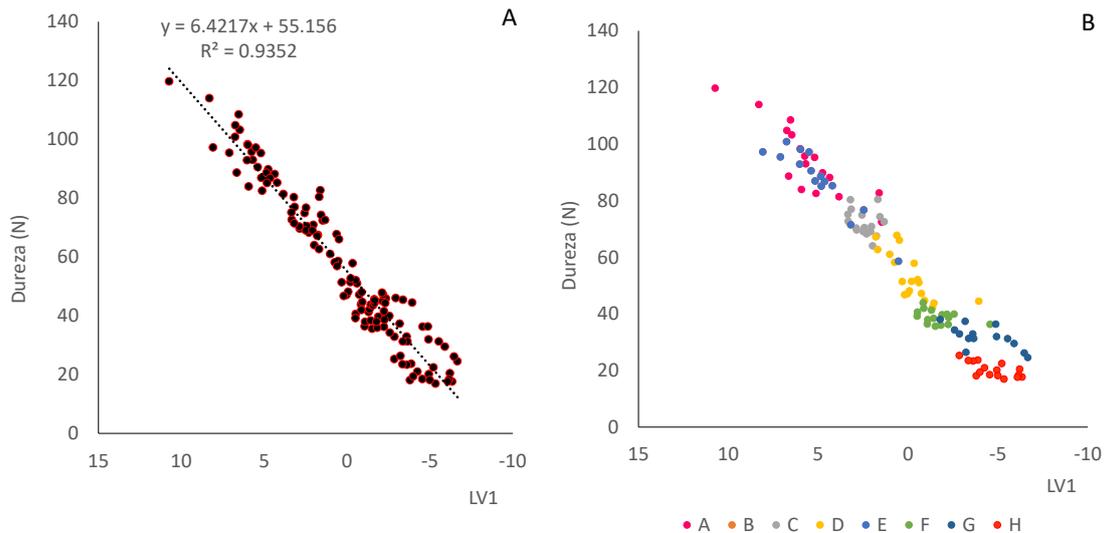
Tras la observación de la relación entre los datos de textura e imagen, se procedió a realizar un estudio de la dependencia entre ambos bloques de datos. Este estudio se basó en un análisis de regresión entre la matriz de datos de imagen y los datos de dureza. Para ello, se aplicó el método de regresión por Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-R) con el objetivo de evaluar el coeficiente de correlación entre ambos grupos de datos. Este método, a diferencia que PCA, se basa en reducir la dimensionalidad de una matriz multivariante (X) bajo la premisa de obtener la máxima correlación con una variable numérica (Y) en concreto, y no la de obtener PCs que procuren máxima dispersión entre muestras. En este caso las variables generadas tras reducir la dimensionalidad, homólogas a los PCs, se llaman variables latentes (LV).

Tras la aplicación de este método se obtuvieron tres LV acumulando más del 75% de la varianza total. El estudio de los valores de cada una de las LV por separado reveló como LV1 y LV3 capturaron la varianza correspondiente a la evolución de textura observada previamente a lo largo del proceso de maduración y las diferencias por zonas respectivamente. La Figura 9 muestra el espacio de varianza generado por LV1 y LV3. Se observa a lo largo de LV1 la secuencia de agrupación de las muestras correspondiente a los diferentes grupos muestrales categorizados anteriormente. Por otra parte, se observa como los datos de cada grupo se dispersan en diagonal a través de LV1 y LV3, asumiendo dicha dispersión como la generada por el efecto de la zona analizada. En base a estos resultados se procedió a realizar el estudio de calibración con la LV1 ya que esta representa tanto la disposición de las muestras en base a la categorización en función de la textura como de la dispersión generada por la zona del plátano en estudio.



**FIGURA 9.** *Espacio de varianza generado por LV1 y LV3 tras un análisis de regresión de los datos de imagen vs dureza con PLS-R.*

La Figura 10-A muestra el nivel de correlación entre los datos de imagen transformados en valores de LV1 vs. dureza para cada una de las muestras analizadas, independientemente del grupo muestral al que pertenecen. La relación presentó un coeficiente de determinación de 0.93, el cual indicó una alta dependencia entre ambas variables. Cuando se etiquetaron las muestras en base a la categorizaron en función de la dureza se observó el efecto grado de madurez y zona del plátano a lo largo del modelo generado (Figura 10-B). Se observó como las muestras de diferentes grupos se mezclaron a lo largo del modelo, independientemente del grupo, debido al efecto observado de la dispersión de dureza por zonas. Este efecto se apreció principalmente entre los grupos de muestras más duras, tales como el A y el B, mientras que en la zona de muestras más blandas se observaron núcleos definidos de muestras pertenecientes a grupos concretos tales como F y G.



**FIGURA 10.** Relación datos de imagen (LV1) vs dureza sin diferenciar (A) y categorizadas por grupos (B).

Esta relación no significa que la respuesta del equipo de imagen responda ante cambios de dureza en sí, sino que los cambios producidos en el tejido del plátano por la anteriormente comentada actividad enzimática producen una proporción de cambios equivalentes en las propiedades concretas que miden los equipos utilizados para imagen y textura, que en este caso fueron la transmitancia para la longitud de onda utilizada en el láser y la resistencia mecánica respectivamente.

Por lo tanto, se puede asumir que fue posible realizar un modelo de calibración entre la información de imagen y la dureza en muestras de plátano loncheado, independientemente del estado de madurez y la zona del mismo. De esta manera, el conocimiento de las propiedades texturales de muestras de plátano loncheado podría ser posible de forma rápida no destructiva a partir de los datos de imagen y un modelo de predicción preestablecido y convenientemente entrenado.

## 5.CONCLUSIONES

El efecto del tiempo sobre las muestras fue una reducción de la dureza generalizada, pero también una reducción de la heterogeneidad de texturas dentro de cada plátano. Esta evolución de los tejidos fue capturada por la técnica de imagen, la cual presentó evoluciones similares a las observadas en los análisis de textura.

Así, el análisis de patrones generados al interaccionar la luz con la matriz del plátano permitió caracterizar el tejido, y con ello el estado de maduración de las muestras de forma no destructiva. Además, se pudo caracterizar el efecto de la maduración sobre la zona analizada. Los resultados evidenciaron que los datos extraídos mediante los descriptores capturaron la varianza generada tanto por el efecto del tiempo como por el efecto de la zona, mostrando la misma reducción de heterogeneidad dentro de las diferentes zonas del fruto.

Esta relación permitió generar un modelo de calibración entre los datos de textura e imagen, el cual evidenció la dependencia de ambas variables con el estado de

maduración del tejido y por lo tanto la posibilidad de generar un modelo de predicción de una sobre la otra. Esto permitiría conocer la textura de las muestras de plátano sin necesidad de destruirlas en un análisis, a partir de los datos de imagen. La función sería evitar muestreos aleatorios, pues podrían analizarse una por una todas las muestras de forma rápida en una línea de producción/transformación para una posterior clasificación.

Conforme a los resultados, son imprescindibles nuevos estudios con el fin de incrementar el número de muestras y tiempos de análisis para mejorar modelo obtenido y hacerlo más robusto. Además, en estudios futuros, se deben ampliar el número de descriptores utilizados y/o crear nuevos con el objetivo de mejorar la información extraída de cada muestra.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, C. D., LIU, P., & PILKAUSKAS, P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. Estudios FAO Productos Básicos 1. FAO. 2004. Roma.
- ARRIETA, A. J., BAQUERO, U. M., & BARRERA, J. L. (2006). Physical-chemical characterisation of 'Papocho' plantain (Musa ABB Simmonds) maturing. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 48-53.
- AZCÓN-BIETO, J. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal* (No. 581.1 F981f). Madrid, ES: McGraw-Hill Interamericana.
- BARRERA, J. L., ARRAZOLA, G. S., & CAYÓN, D. G. (2010). Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica*, 59(1), 20-29.
- BELLO-LARA, J. E., BALOIS-MORALES, R., SUMAYA-MARTÍNEZ, M. T., JUÁREZ-LÓPEZ, P., RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, A. I., SÁNCHEZ-HERRERA, L. M., & JIMÉNEZ-RUIZ, E. I. (2014). Extracción y caracterización reológica de almidón y pectina en frutos de plátano 'Pera' (Musa ABB). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE8), 1501-1507.
- BUGAUD, C., ALTER, P., DARIBO, M. O., & BRILLOUET, J. M. (2009). Comparison of the physico-chemical characteristics of a new triploid banana hybrid, FLHORBAN 920, and the Cavendish variety. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3), 407-413.
- BUGAUD, C., CAZEVIEILLE, P., DARIBO, M. O., TELLE, N., JULIANUS, P., FILS-LYCAON, B., & MBÉGUIÉ-A-MBÉGUIÉ, D. (2013). Rheological and chemical predictors of texture and taste in dessert banana (Musa spp.). *Postharvest Biology and Technology*, 84, 1-8.
- BUGAUD, C., DEVERGE, E., DARIBO, M. O., RIBEYRE, F., FILS-LYCAON, B., & MBÉGUIÉ-A-MBÉGUIÉ, D. (2011). Sensory characterisation enabled the first classification of dessert bananas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 992-1000.
- CANO, M. P., DE ANCOS, B., MATALLANA, M. C., CÁMARA, M., REGLERO, G., & TABERA, J. (1997). Differences among Spanish and Latin-American banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*, 59(3), 411-419.

- CARDOZO, C. M., SALINAS, G. C., & MORENO, G. L. (2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 217-227.
- CAYUELA, L. (2011). Análisis multivariante. *Tulipán: Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos*.
- CHEN, Q., ZHANG, C., ZHAO, J., & OUYANG, Q. (2013). Recent advances in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 52, 261-274.
- CHOI, K. H., LEE, K. J., & KIM, G. (2006). Nondestructive quality evaluation technology for fruits and vegetables using near-infrared spectroscopy. In *Proceedings of the International Seminar on Enhancing Export Competitiveness of Asian Fruits, Bangkok, Thailand* (pp. 18-19).
- CLARK, C. J., AND MACFALL, J. S. (2003). Quantitative magnetic resonance imaging of 'Fuyu' persimmon fruit during development and ripening. *Magnetic Resonance Imaging*, 21(6), 679-685.
- DARLING, C. L., HUYNH, G., AND FRIED, D. (2006). Light scattering properties of natural and artificially demineralized dental enamel at 1310 nm. *Journal of biomedical optics*, 11(3), 034023.
- DEMERUTIS, P. CARLOS. (1996). Procesos fisiológicos y sistemas de postcosecha, *Escuela de agricultura de la región tropical húmeda, Costa Rica*.
- DUTTA, R., KASHWAN, K. R., BHUYAN, M., HINES, E. L., AND GARDNER, J. W. (2003). Electronic nose based tea quality standardization. *Neural Networks: 16*(5-6), 847-853.
- ESPELETA VALERA, S. (2016). *Monitorización de la estabilidad de zumo de naranja pasteurizado mediante lengua electrónica potenciométrica*. Trabajo final de máster. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/68999>> [Consulta:1 de Marzo 2021].
- FULLADOSA, E., RUBIO-CELORIO, M., SKYTTE, J. L., MUÑOZ, I., AND PICOUET, P. (2017). Laser-light backscattering response to water content and proteolysis in dry-cured ham. *Food control*: 77, 235-242.
- GARCÍA, C. L., GIRALDO, G. A., HURTADO, H., & MENDIVIL, C. O. (2006). Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano gros michel en diferentes estados de maduración. *Vitae*, 13(2), 13-19.
- GRANADOS, C., ACEVEDO, D., CABEZA, A., & LOZANO, A. (2014). Análisis de perfil de textura en plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Información tecnológica*, 25(5), 35-40.
- HARKER, F. R., MAINDONALD, J., MURRAY, S. H., GUNSON, F. A., HALLETT, I. C., & WALKER, S. B. (2002). Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. *Postharvest biology and technology*, 24(3), 225-239.
- HERNÁNDEZ TORRALBA, S. (2019). *Aproximación de la técnica de análisis de patrones láser para la caracterización de la textura de carne durante su*

maduración. Trabajo final de grado. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/123891>> [Consulta:15 de Marzo 2021].

- KAJUNA, S. T., BILANSKI, W. K., & MITTAL, G. S. (1997). Textural changes of banana and plantain pulp during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(2), 244-250.
- LÓPEZ VALMAÑA, C. (2020). *Aplicación de la técnica de imagen basada en el análisis de patrones laser para la caracterización del efecto de la incorporación de fibra a galletas*. Trabajo final de grado. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/147819>> [Consulta:21 de Febrero 2021].
- LOZOYA PLANTÁ, R. (2020). *Estudio de la técnica de análisis de imagen de patrones láser como herramienta para evaluar la estabilidad térmica de aceites vegetales*. Trabajo final de grado. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/149521>> [Consulta:17 de Febrero 2021].
- MARTÍNEZ, J. C. (2014). La EDXRF, caracterización de pigmentos presentes en obras pictóricas desde el siglo XVI hasta el XX. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (14), 16-4.
- MEHINAGIC, E., ROYER, G., SYMONEAUX, R., BERTRAND, D., & JOURJON, F. (2004). Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest biology and technology*, 34(3), 257-269.
- MEHL, P. M., CHAO, K., KIM, M., AND CHEN, Y. R. (2002). Detection of defects on selected apple cultivars using hyperspectral and multispectral image analysis. *Applied engineering in agricultura*, 18(2), 219.
- MEJÍA GUTIÉRREZ, L. F. (2013). Evaluación del comportamiento físico y químico poscosecha del plátano dominico Hartón (musa aab simmonds) cultivado en el municipio de Belalcázar (Caldas). *Facultad de Ciencias*.
- MENGOD BAUTISTA, J. (2020). *Uso de ultrasonidos para la caracterización no destructiva de frutas y verduras*. Trabajo final de máster. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/151259>> [Consulta:21 de Febrero 2021].
- MOLLAZADE, K., OMID, M., TAB, F. A., KALAJ, Y. R., MOHTASEBI, S. S., & ZUDE, M. (2013). Analysis of texture-based features for predicting mechanical properties of horticultural products by laser light backscattering imaging. *Computers and electronics in agricultura*, 98, 34-45.
- NAKAHARA, J. F., BEAUDRY, B. J., GSCHNEIDNER, K. A., & TAKESHITA, T. (1987). The Effect of Sm, Eu and Yb on the Thermoelectric Properties of Th<sub>3</sub>P<sub>4</sub>-Type Lanthanum Sulfide. *MRS Online Proceedings Library Archive*, 97.
- ORDOÑEZ MORENO, A. G., & CASTILLO SOTO, P. (2005). *Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano usando teflón como agente madurador*. Trabajo final de grado. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- PEREZ, L., TORRES, I., & SANCHEZ, M. (2021). *Nuevo método para analizar la calidad de frutas y hortalizas, en campo o almacén*. Hortoinfo.es. <<http://www.hortoinfo.es/index.php/9736-analisis-fruta-nirs-021020>>. [Consulta 9 Junio 2021].

- QUICENO, M. C., GIRALDO, G. A., & VILLAMIZAR, R. H. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *UGciencia*, 20(1), 48-54.
- QING, Z., JI, B., AND ZUDE, M. (2008). Non-destructive analyses of apple quality parameters by means of laser-induced light backscattering imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), 215-222.
- ROBINSON, J. C., & GALÁN SAÚCO, V. (2012). *Plátanos y bananas*. Editorial Paraninfo. Madrid. 321pp. <<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mAv3EQAcgZ8C&oi=fnd&pg=PA23&dq=+platanos+importancia+mundial&ots=7BqTvs-00Y&sig=9KSZAg4XWnOqdxup2x1mZSD92Bo#v=onepage&q=platanos%20importancia%20mundial&f=false>> [Consulta:1 de Marzo 2021].
- ROLDÁN, R. Y FERRERO, J. (2008): “Análisis no destructivos. El uso de la fluorescencia de rayos X en arte y arqueología”, *Mètode*, 56: 221-227.
- SALADIÉ, M. (2001). *Caracterització de la pectac liasa il<sub>2</sub> expansina i la seva implicació en les modificacions de la paret cel·lular al llarg de la maduració dels fruits climaterics* (Doctoral dissertation, Universitat de Barcelona).
- SALVADOR, A., FISZMAN, M., & CALVO, C. (1999). Influencia del tiempo y temperatura de almacenamiento en el color externo de plátanos. *Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. España*.
- SALVADOR, A., SANZ, T., & FISZMAN, S. M. (2007). Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas. *Postharvest biology and technology*, 43(3), 319-325.
- SÁNCHEZ TORRES, P. G. (2019). *Análisis de patrones láser para la caracterización de la textura de carne de cerdo: efecto del pretratamiento con enzima y posterior cocción*. Trabajo final de máster. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/129837>> [Consulta:13 de Febrero 2021].
- TORRES, R., MONTES, E. J., PÉREZ, O. A., & ANDRADE, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información tecnológica*, 24(3), 51-56.
- VERDÚ AMAT, S. (2016). *Aplicación del análisis de imagen hiperespectral y tridimensional al control de procesos y productos en la industria harinera y sus derivados*. Tesis doctoral, Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/65354>> [Consulta:13 de Febrero 2021].
- VERDÚ, S., BARAT, J. M., & GRAU, R. (2019). Laser backscattering imaging as a non-destructive quality control technique for solid food matrices: Modelling the fibre enrichment effects on the physico-chemical and sensory properties of biscuits. *Food control*, 100, 278-286.
- VERDÚ, S., BARAT, J. M., & GRAU, R. (2019). Non destructive monitoring of the yoghurt fermentation phase by an image analysis of laser-diffraction patterns: Characterization of cow's, goat's and sheep's milk. *Food chemistry*, 274, 46-54.

- VERDÚ, S., PÉREZ, A. J., BARAT, J. M., & GRAU, R. (2019). Laser backscattering imaging as a control technique for fluid foods: Application to vegetable-based creams processing. *Journal of Food Engineering*, 241, 58-66.
- VERDÚ, S., PÉREZ, A. J., BARAT, J. M., & GRAU, R. (2021). Non-destructive control in cheese processing: Modelling texture evolution in the milk curdling phase by laser backscattering imaging. *Food Control*, 121, 107638.
- VICENS MIRA, V. P. (2019). *Monitorización de la etapa de cuajado de queso mediante la técnica no destructiva de imagen basada en el análisis de patrones láser*. Trabajo final de grado. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/127227>> [Consulta:13 de Febrero 2021].
- WILLS, R., MCGLASSON, B., GRAHAM, D., JOYCE, D., & RUSHING, J. W. (1999). Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. *Journal of vegetable crop production*, 4(2), 83-84.