

Enfoque geométrico para la estimación del peso del fruto mango de azúcar mediante procesamiento digital de imágenes

Geometric approach for estimating the weight of mango sugar fruit by digital image processing

Pedro S. Atencio O., Ing S. y Germán Sánchez T., M.Sc.

Facultad de Ingeniería, Programa de Sistemas, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia
petriu16@yahoo.es: gsanchez@unimagdalena.edu.co.

Recibido para revisión 15 de Abril de 2009, aceptado 23 de Octubre de 2009, versión final 01 de Diciembre de 2009

Resumen—La medición precisa de las propiedades físicas de los frutos, tales como el peso y el nivel de maduración, constituye un procedimiento típico e importante en varios procesos industriales orientados a la clasificación y selección de productos de calidad para la exportación. Este trabajo describe un procedimiento geométrico para la estimación del peso del fruto Mango de azúcar (*Mangifera Indica L.*), de manera automática mediante el análisis de imágenes de intensidad 2D. El procedimiento inicia con la adquisición de la imagen sobre la cual se procede a la extracción del contorno mediante segmentación del fondo y el fruto. Posteriormente, se infiere un modelo volumétrico elipsoidal de este a partir de las dimensiones medidas sobre la imagen adquirida. Las dimensiones físicas como el ancho y el largo del fruto, son aproximadas automáticamente mediante el Análisis de componentes Principales de los puntos que definen el contorno. Finalmente, el peso es estimado a partir del volumen estimado y una medida de densidad fija determinada experimentalmente. Los resultados obtenidos muestran que el método permite inferir adecuadamente una aproximación de las características físicas como el volumen y el peso a partir de imágenes bidimensionales.

Palabras Clave—Visión por computador, Procesamiento digital de imágenes, Estimación de Volumen.

Abstract—The accurate measurement of the fruits' physical features, such as weight and maturation-level, is a typical and important procedure in many industrial processes aimed to classification and selection of quality products for the export. This paper describes an automatic geometric procedure toward to the weight estimation of the Mango Azúcar fruit, by analyzing intensity 2D-images. The procedure begins with the acquisition of the image of the fruit and extracting the contour of it through segmentation of the background and the fruit. Subsequently, an ellipsoidal volumetric model of the fruit is inferred from its dimensions, estimated by the image acquired. The physical dimensions as width and length of the fruit are automatically approximated by the principal components analysis

of the points that define the contour. Finally, the weight is estimated from the volume and a fixed density measure estimated experimentally. The results obtained, show that the method allows inferring an adequate approximation of physical characteristics such as volume and weight from 2D- images.

Keywords—Computer vision, RGB, BLOB, Histogram, Image Processing, and Geometric features.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años la aplicación de técnicas basadas en visión por computador como apoyo en la realización de procedimientos industriales que requieren supervisión visual permanente, se ha mostrado como una fuerte tendencia para el mejoramiento de la calidad de dichos procesos[1-2]. La gran propuesta de aplicaciones es debida principalmente, al continuo avance tecnológico al cual nos enfrentamos en la actualidad. La apropiación y aplicación de estos avances ha tenido importantes repercusiones en cuanto a la optimización de procesos industriales se refiere, debido al aumento igualmente creciente de las exigencias del mercado para con la industria en general.

Los productos alimenticios de exportación, por ejemplo, requieren de la aplicación de exigentes estándares de clasificación que deben ser cumplidos por el exportador para poder operar dentro del mercado. En este contexto, la tecnología ha venido cumpliendo un papel importante no solo reemplazando sino mejorando, en muchos procesos, el papel del hombre en la toma de decisiones.

La aplicación de la visión por computador en la actualidad es una selección que muchas empresas del área de la industria agrícola han optado por acoger debido a las bondades que esta

tecnología ofrece, a saber, preservación del fruto, la higiene del proceso, debido a que, nunca es necesario el contacto físico con el objeto de estudio [3], adicionalmente, el bajo costo de implementación comparado con otras tecnologías debido al hecho de que, en la mayoría de los casos, un sistema de este tipo puede ser implementado mediante el uso de un computador personal convencional.

Para los países en los cuales uno de sus principales ingresos es el sector agrícola, es necesario enfocar la tecnología en aras de mejorar procesos que en la actualidad siguen siendo llevados de manera artesanal y que bien podrían contribuir al crecimiento de este sector de la industria.

El sector del fruto de mango constituye un mercado importante para la economía de algunas regiones [4]. Su principal característica suele ser el alto porcentaje dedicado a la exportación por lo que ha de cumplir con algunas reglamentaciones relacionadas con las condiciones físicas del fruto. Los procedimientos realizados para este fin, aun siguen siendo manuales, debido quizás, a los tamaños relativos de estas empresas, en las cuales el costo de la adquisición de tecnología suele ser aun muy alto. Sin embargo, el crecimiento de esta puede estar limitado a la poca flexibilidad y al alto costo de aumentar sus procesos. En el contexto específico del tratamiento del fruto del mango, la clasificación y la supervisión del cumplimiento de la reglamentación colombiana [5], es una tarea manual y aplicada fruto por fruto. Por tal razón, la automatización, a un bajo costo, de estos procesos se presenta como una alternativa que pudiera incentivar el desarrollo de esta industria.

En este trabajo se presenta un método automático para estimar el volumen y peso del mango de azúcar mediante el uso de técnicas de visión por computador. La organización de este documento es la siguiente: La sección 2, describe el método para estimar el peso del fruto del mango de azúcar, a través del estudio geométrico del mismo en una imagen bidimensional. En la sección 3 se realizan las pruebas y experimentos que ayudaron a validar el método propuesto y en la sección 4, se realizan las conclusiones del método propuesto.

II. ESTADO DEL ARTE

La aplicación de la visión artificial para el control de calidad en la industria del alimento es una tendencia adoptada por muchas empresas de este sector, debido en gran parte a las propiedades inherentes en los sistemas de este tipo como por ejemplo, la limpieza en el proceso, ya que no se tiene contacto físico con el objeto de estudio en ningún momento y a la relación directa con la naturaleza del proceso original en cuanto a control de calidad en los alimentos se refiere, que en su mayoría se realiza a través de la visión humana. Muchos países han desarrollado aplicaciones de este tipo, en algunos casos con el fin de tornar objetivos procesos de control de calidad

en su mayoría de carácter subjetivo y en otros casos con el afán de mejorar tiempos de producción. A continuación se mostrarán algunos trabajos relacionados con el tema que han servido de apoyo para la presente investigación. En Japón se desarrollo un sistema de visión por computador para el proceso de selección y clasificación de fresas de acuerdo al tamaño y la forma de la fruta [6]. El estudio del tamaño se realizó en base a la estimación de la distancia del centro de masa de la fruta hasta la punta de la misma, además del producto del radio de máxima distancia y la altura de la fresa. Por otro lado, para la evaluación de la forma de la fruta, se utilizó el área de la misma en la imagen capturada. Un trabajo similar es el realizado en [7] para la estimar la ubicación de la unión tallo-rama en la zanahoria basado en el análisis del borde del mango y un método que utiliza conocimiento a priori para obtener información de la unión de acuerdo a la relación de los diámetros de la zanahoria. La extracción y estudio de características aplicando técnicas de reconocimiento de patrones fue realizada en [8] para la clasificación de zanahorias de acuerdo los defectos encontrados o no en su superficie, su curvatura y la fragilidad de la misma. En [9] se desarrolló un algoritmo basado en la expansión de Fourier para la caracterización de la forma de la manzana. Para esto se determinan 24 coeficientes de Fourier seleccionados de los puntos del borde de la manzana en la imagen y posteriormente se realiza el análisis de componentes principales de dichos coeficientes del cual se extraen dos variables de forma que luego son contrastadas o comparadas con una lista de variables de forma determinadas de manera subjetiva.

III. MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL PESO DEL FRUTO DEL MANGO DE AZÚCAR

En el proceso de estimación del fruto, una vez adquirida la imagen, es necesario realizar pasos intermedios para obtener una buena aproximación del área proyectada del mango sobre la imagen, para el contexto de este trabajo, el área corresponde a la proyección sobre un plano bidimensional del volumen del mango tomado desde la parte superior de este (ver Figura 1). Sobre esta medida se realizan las aproximaciones de volumen para obtener finalmente una medida del peso. El paso inicial para obtener las dimensiones del área proyectada del mango, es el proceso de segmentación de este, para separar partes de la imagen que no pertenecen al fruto. Tomando en consideración la reducción del error al separar la imagen del fondo, se deben aplicar procedimientos para mejorar la calidad de la imagen. Seguidamente, la imagen es segmentada y finalmente se miden las longitudes de sus dimensiones.

A. Adquisición, pre-procesamiento y tratamiento inicial de la imagen

Una vez adquirida la imagen siguiendo un montaje similar al descrito en la Figura 1, el pre procesamiento se llevó a cabo aplicando las siguientes técnicas de tratamiento de imágenes:

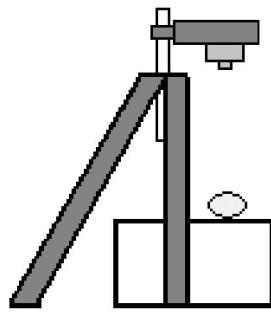


Figura 1. Configuración para la captura de la imagen

- **Corrección del brillo y contraste:** Esta técnica, permitió aproximar el brillo y el contraste de la imagen del mango de azúcar a un brillo y contraste tomados como referentes, a través del desplazamiento del histograma de la misma [6]. La imagen requerida para obtener el brillo y el contraste ideales, fue seleccionada por un experto de la un muestreo de imágenes utilizadas para este trabajo.
- **Filtro Mediana y Gaussiano:** Estos dos filtros se utilizaron con el fin de eliminar ruido de tipo impulsivo (sal y pimienta) y/o Gaussiano presentes en la imagen, generados por el fondo y el modelo de iluminación [10].

En la Figura 2 se puede observar el resultado de aplicar las técnicas de pre-procesamiento comentadas a la imagen del mango de azúcar.



Figura 2. Imagen Original y Pre-procesada

B. Segmentación de la imagen

Una vez aplicado los procedimientos de mejoramiento de la imagen, el siguiente paso consiste en separar el fruto del fondo de la imagen. La distinción de colores de estas dos partes es notoria, lo que hace del proceso de separación un procedimiento sencillo, sin embargo, debido a características del proceso de adquisición, el valor de pixeles del fondo no es completamente negro, por lo que se considera negro no solo los valores igual a 0,0,0 en el espacio de color RGB, sino también los que se encuentren dentro de un rango de tolerancia definido por un umbral.

El procedimiento se basa en la clasificación de cada pixeles en dos grupos: los que pertenecen al fondo y los que se encuentran dentro del fruto. Esta clasificación es realizada de acuerdo al valor del pixeles en referencia a unos umbrales definidos para cada capa del modelo RGB. El establecimiento de estos umbrales de color se realizo de acuerdo a la reglamentación técnica definida para caracterizar el fruto en cualquier estadio de su fase de maduración [5]. El valor asignado a cada umbral fue estimado experimentalmente, mediante muestras de referencia seleccionadas por un experto en la reglamentación. Una vez obtenidos los valores de umbral RGB, se procedió a clasificar cada uno de los pixeles. Los pixeles que están dentro del rango $[(0:r),(0:g),(0:b)]$ donde r, g y b son los valores de umbralización para las capas Red, Green y Blue de la imagen, son considerados parte del fondo y su valor es establecido en 0 para cada una de las capas. El resto de pixeles corresponderá al fruto y su valor no es alterado. Esto permite la eliminación del fondo de una manera directa, eliminando los pixeles con valor 0.

De esta forma, si $C(x, y)$ es el valor de intensidad de una capa C para un determinado píxel en la posición (x, y) de una imagen RGB, $G(x, y)$ es el valor obtenido mediante el filtrado de color y μ el valor de umbral de filtrado establecido para dicha capa, entonces tendríamos que:

$$g(x, y) = \begin{cases} C(x, y) & \text{si } C(x, y) \in [\mu, 255] \\ 0 & \text{si } C(x, y) \notin [\mu, 255] \end{cases} \quad (1)$$

Dada una imagen I de ancho $anchoImagen$, alto $altoImagen$, unas capas de color r, g, b y unos umbrales para las capas R, G y B $\delta_r, \delta_g, \delta_b$ respectivamente, la implementación del filtrado de color en pseudocódigo se puede apreciar en el algoritmo 1.

```
para y = 0 hasta altoImagen - 1
  para x = 0 hasta anchoImagen - 1
    si  $r(x,y) < \delta_r$  OR  $g(x,y) < \delta_g$  OR  $b(x,y) < \delta_b$  entonces
       $I(x,y) = 0$ 
    fsi
  fpara
end
```

Algoritmo 1. Filtrado de color.

Una vez aplicado el filtrado por color, se obtuvo una imagen como se muestra en la figura 3 en la cual se puede diferenciar el objeto y el fondo sin ambigüedad:

Posteriormente, se convierte la imagen a escala de grises y posteriormente se binariza mediante el uso de umbralización. El objetivo de binarizar la imagen es separar los objetos presentes en ella a través del estudio de BLOB's (*Binary Large Object*) o etiquetado de componentes conexas [2], para lo cual se partió

del hecho de que la imagen está binarizada. Los BLOB's son regiones de pixeles binarios con un grado alto de cercanía, más brillantes o más oscuros (dependiendo del caso) que su entorno. Un ruido en la imagen que no se haya filtrado por color o en la posterior binarización, es tomado como un BLOB, por lo cual, una vez obtenidos todos los BLOB's de la imagen, se realizó un procedimiento de búsqueda para determinar cuál de estos era el de mayor tamaño o mayor número de pixeles, ya que, se supone que el objeto de mayor tamaño en la imagen será el mango (figura 4).



Figura 3. Imagen filtrada por color

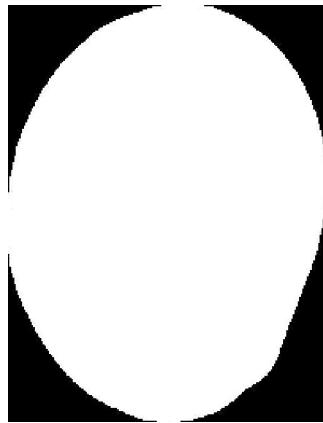


Figura 4. BLOB Mango

C. Extracción del contorno y Estimación de las Dimensiones Geométricas Bidimensionales

Diferentes enfoques han sido propuestos para la estimación de estas dimensiones [11-12]. Sin embargo, la aplicación automática de estos enfoques suele ser difícil y en la mayoría de los casos requerir que la imagen sea tomada en una posición particular del fruto. Este trabajo propone un mecanismo robusto e independiente de la ubicación del fruto en la imagen, lo que un montaje más flexible y sencillo. El objetivo inicial de esta etapa, fue hallar los valores en pixeles de la longitud y la anchura aproximadas del mango en la imagen, independiente de su rotación o posición en la misma. Para esto, se define $P \in I$ como el conjunto de pixeles $p_i = (x \in R, y \in R, f(r, g, b))$ dentro de la imagen I . Sea $\Gamma \subset P$, el conjunto de pixeles dentro

del fruto y $\Psi = P - \Gamma$ los pixeles por fuera del fruto después de la extracción del BLOB. El objetivo es obtener el conjunto $c \subset \Gamma$ que define el contorno del fruto. El conjunto c puede ser obtenido de acuerdo al Algoritmo 2 y la imagen 5 muestra un ejemplo del resultado obtenido:

```

c = {}
q = x ∈ Γ
s=q
contorno(s,c)

inicio
  si (s=q) ∧ c ≠ {}
    retorno
  fsi
  para ((∀ k ∈ vecino(s))
    si (k ∈ Γ) ∧ (I ∉ c)
      c ← k
      contorno(k,c)
    fsi
  fpara
Fin

```

Algoritmo 2. Procedimiento de extracción del contorno del fruto.

Donde, la función $vecinos(s)$, para un pixel (x,y) se define el vecindario referido a un grid del pixel s , y se define como:

$$vecinos(x, y) = p_i = x + dx, s + dy - 1 \leq dx, dy \leq 1.$$

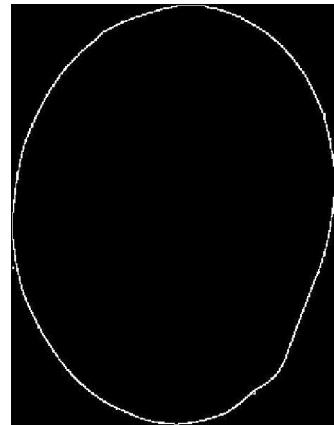


Figura 5. Borde del mango

Una vez se ha obtenido c , las longitudes principales del fruto coinciden en dirección con las variaciones de los datos en c . Para obtener las direcciones de tendencia principal de los datos, se utilizó un modelo de la estadística multivariante denominado PCA o transformada de Karhunen-Loeve [13]. Se inició con la estimación de la covarianza de los p_i haciendo una reducción

de su dimensión a \mathbb{R}^2 . Es posible definir la matriz de covarianzas de acuerdo a la Ecuación 1.

$$M_c = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T \quad (1)$$

Donde, n es el tamaño de c y \bar{p} , es el punto de centro de masa respecto a c , y esta definido por:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (2)$$

La técnica PCA retornará tantos vectores como dimensiones espaciales se tengan; para este caso se trabajó con imágenes de 2 dimensiones por lo cual se obtuvieron 2 vectores. Así, los λ_i corresponden a los valores propios y los v_i son los vectores

propios de la matriz M_c . Si $\lambda_1 < \lambda_2$, entonces v_1 , representara la dirección de la menor tendencia y coincidiría con la dirección de una recta que define el ancho del fruto, de manera similar, v_2 representara la dirección de la mayor variación de los datos del contorno, lo que es similar en dirección, al largo del fruto.

Si consideramos la longitud del mango como la línea recta de mayor magnitud que corte el borde del mango en dos puntos, entonces, a partir del centro de masa \bar{p} de la imagen, se realiza un recorrido en la dirección del vector v_2 , y se cuenta la cantidad de pixeles de este recorrido medida que se aproxima a la longitud del mango. En este trabajo, la anchura del mango se definió como la línea recta de mayor magnitud que corte el borde del mango en dos puntos y sea perpendicular a la línea de longitud, por lo cual, el segundo vector que arrojó una dirección perpendicular a la longitud, sirvió para hacer un recorrido sobre la longitud buscando la mayor anchura. La longitud y la anchura halladas se pueden observar en la Figura 6.

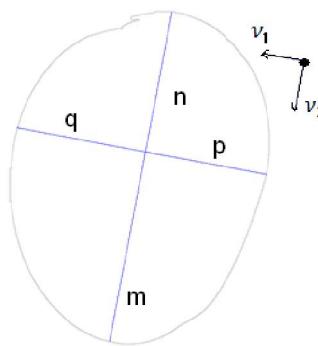


Figura 6. Componentes principales halladas

El último dato que se necesitó en esta etapa fue la posición (x , y) del punto de corte entre la longitud y la anchura, el cual se

utilizo para estimar las subcomponentes de la longitud y la anchura necesarias para estimar el volumen del mango como veremos posteriormente.

D. Modelo elipsoidal del Volumen

Para la construcción de un modelo elipsoidal que permitiera calcular un volumen aproximado del mango, tal como en [14], en donde se divide el mango en 4 secciones como se muestra en la Figura 7.

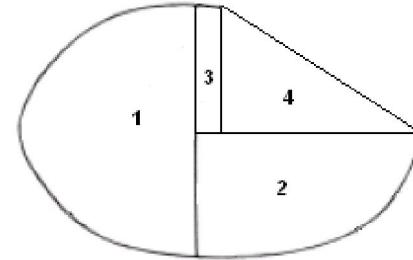


Figura 7. Secciones del mango de Manila[4].

Para el mango de manila se estiman cuatro volúmenes, uno para cada sección del mismo, con lo cual se tendría un volumen de media esfera (sección 1), el volumen de medio cilindro (sección 3), el volumen de medio cono (sección 4) y por último el volumen de medio elipsode (sección 2); La suma de los cuatro volúmenes hallados sería el volumen total del mango de Manila.

Debido a que el mango de azúcar presenta una redondez mayor en su geometría con respecto al mango de Manila, para este estudio se procedió a calcular el volumen del mango de acuerdo a tres secciones como se muestra en la Figura 8:

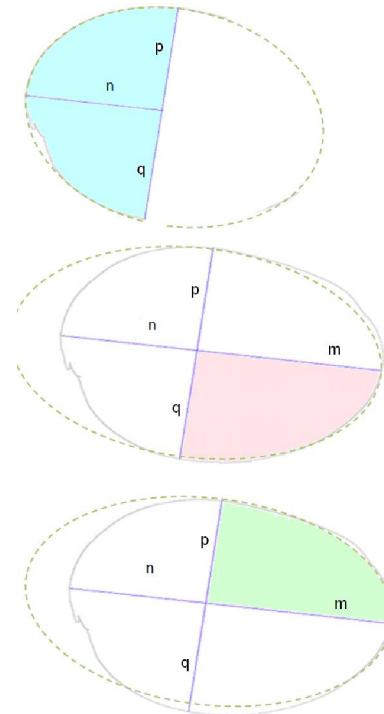


Figura 8. Secciones del mango de azúcar

Con el fin de obtener las tres secciones del mango una vez se tuvieran la longitud, la anchura del mismo y el punto de corte entre la longitud y la anchura, se procedió a definir lo siguiente:

- La parte de la longitud perteneciente a la base del mango (n) es la línea de menor distancia entre el punto de corte de la longitud y la anchura y uno de los dos puntos de corte de la línea de longitud y el borde del mango.
- La parte de la longitud perteneciente a la punta del mango (m) es la línea de mayor distancia entre el punto de corte de la longitud y la anchura y uno de los dos puntos de corte de la línea de longitud y el borde del mango.
- La anchura superior del mango (p), es la línea de menor distancia entre el punto de corte de la longitud y la anchura y uno de los dos puntos de corte de la línea de anchura y el borde del mango.
- La anchura inferior del mango (q), es la línea de menor distancia entre el punto de corte de la longitud y la anchura y uno de los dos puntos de corte de la línea de anchura y el borde del mango.

Una vez definidas las cuatro componentes n, m, p y q , los volúmenes para los segmentos de elipsoides que aproxima las secciones del fruto: V_1 , V_2 y V_3 , quedan definidos como en la ecuación 3-5.

Donde V_1 es medio volumen del elipsoide de la región 1, de radios n , $\frac{p+q}{2}$ y $\frac{p+q}{2}$; V_2 un cuarto de volumen del

elipsoide de la región 2, de radios p , p y m ; V_3 un cuarto de volumen del elipsoide de la región 3 del mango, de radios q , q y m

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi n (p+q)^2 \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi m p^2 \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi m q^2 \quad (5)$$

El volumen total del fruto V_t , queda definido por la suma de los volúmenes de las secciones (ver Ecuación 6).

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 \quad (6)$$

E. Densidad Media y Cálculo del Peso aproximado

Una vez obtenido el volumen del mango, el procedimiento para la obtención del peso es directo. Se parte de la ecuación 7, que relaciona la masa, el volumen y la densidad.

$$d = \frac{m}{V_t} \quad (7)$$

En la ecuación 7, d representa la densidad del interior del fruto, V_t el volumen total estimado y m aproxima el peso.

La densidad del mango por ser un parámetro de difícil medición, esta se definió de manera experimental, mediante un conjunto M de frutos para los cuales se midió el peso y el volumen con instrumentación especializada. Así, d se define como la densidad promedio estimada del muestreo como se muestra en la ecuación 8.

$$d \cong \bar{d} = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{V_i} \quad (8)$$

donde, n es el tamaño de M , y V_i, m_i corresponden al volumen y el peso medido para cada mango i de M . Por ser esta cantidad una media, entre mayor sea el número de mangos N utilizados para calcular la densidad media, más representativa es \bar{d} mejor será el comportamiento del método para estimar el peso (ver Gráfica 1).

Finalmente, el peso del fruto puede ser estimado mediante la Ecuación 9.

$$\text{peso} \cong m = \bar{d} \times \sum_i^3 V_i \quad (9)$$

IV. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

A. Descripción del experimento

Las imágenes fijas utilizadas para este estudio, se obtuvieron a través de una cámara fotográfica digital KODAK y un trípode graduable para controlar la altura del lente a la fruta. La resolución a la cual se tomaron las fotos fue de 1280 x 960 pixeles en formato jpg, con el fin de obtener la mejor relación gasto computacional y calidad de las medidas estimadas. Se realizó un muestreo de 142 imágenes de mangos de azúcar; a cada mango se lo tomó una imagen y su peso mediante una báscula de pesaje en gramos. Se almacenaron en formato *RGB* (Red Green Blue) para la etapa de segmentación, en la cual se utilizó una técnica de filtrado de color.

El factor de iluminación se trabajó bajo condiciones normales con luz blanca. Para facilitar la extracción del mango con respecto al fondo, se usó para este último una superficie no reflectante de color negro mate.

Los algoritmos y técnicas comentados anteriormente fueron desarrollados en C++ utilizando la librería OpenCV [15] y C# utilizando la librería Aforge [16].

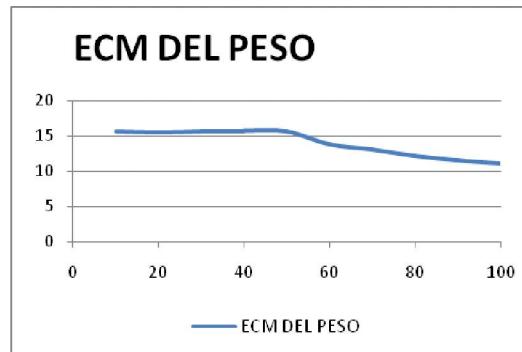
B. Estimación experimental de la densidad promedio

Para estimar el parámetro referente a la densidad del fruto, se realizó un muestreo adicional independiente de 100 frutos, seleccionados aleatoriamente de un cultivo. Para cada uno de los frutos se midió su peso y volumen con instrumentación especializada y se determinó la densidad media. El

comportamiento del volumen calculado, el peso real y la densidad calculada para este muestreo, puede verse en la gráfica 1.

Se encontró que entre mayor sea el número de muestras que se toman para estimar la densidad promedio, menor será el error generado entre el peso estimado y el real, de igual manera la desviación estándar de estos errores también será

tra en la gráfica 2.



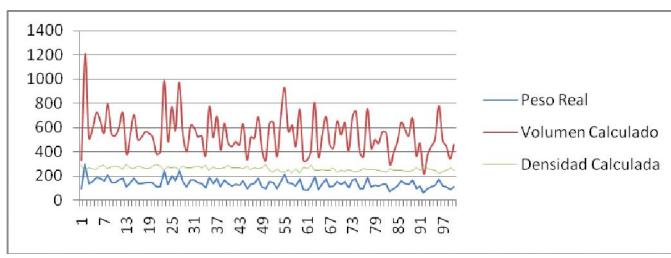
Gráfica 2. Error cuadrado medio (ECM) del peso vs Número de muestras para estimar densidad

Por lo cual, el número de muestras necesarias para estimar la densidad del método, es aquella que disminuya el error cuadrado medio del peso y lo lleve a un punto de estabilidad.

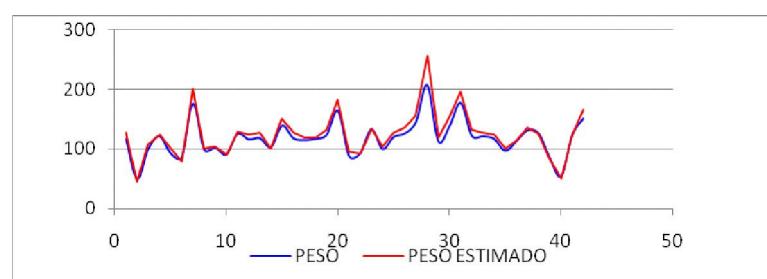
A. Estimación del peso mediante el método propuesto

Para los 142 mangos se les estima el peso mediante el método propuesto usando la densidad promedio hallada. La gráfica 3, muestra el comportamiento del peso real y el peso estimado para cada uno de los 42 primeros frutos. La gráfica muestra que el método reproduce con precisión el comportamiento de la gráfica del peso real.

El error generado en el peso utilizando la densidad hallada anteriormente, es de 11,16 gramos, lo cual indica que en promedio un peso estimado se desvía del real en 11,16 gramos.



Gráfica 1. Comportamiento peso, volumen calculado y densidad calculada del mango.



Gráfica 3. Peso real vs peso estimado

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El método propuesto en este trabajo, está dirigido hacia la estimación del peso del mango de azúcar utilizando técnicas de visión por computador. De acuerdo a las pruebas realizadas, el método provee una aproximación estadísticamente correcta tanto para la medición del peso como para la aproximación del

volumen. Su principal característica consiste en que es completamente automático y debido a que la mayor carga computacional requerida está asociada a la resolución del sistema de ecuaciones que componen la matriz de covarianza para la determinación de los ejes principales de la geometría del fruto, este método resulta en una implementación eficiente computacionalmente.

El montaje requerido para la implementación de un sistema basado en el método propuesto, es sencillo y poco costoso, debido a que se puede utilizar para ello un computador personal y una cámara de color estándar. Adicionalmente, se evidencia la posibilidad de ser extendido, para el estudio de otras frutas de forma y densidad similar, por ejemplo, la naranja y la patilla, manteniendo los mismos márgenes de error dada la similitud en la forma.

El error generado, está cercano a los 11 gramos en promedio, sin embargo, es posible disminuir este error, aumentando el tamaño de las muestras en la estimación de \bar{p} . Así como también es posible explorar la relación entre el error de aproximación y una medida de la redondez del fruto. La redondez del fruto mejora la aproximación elipsoidal, por lo que sería conveniente estudiar un factor de penalización sobre el peso de acuerdo al nivel de redondez del fruto. Un aspecto adicional que no fue abordado en este estudio, lo compone el estudio del efecto del nivel de madurez del fruto en relación a la estimación de la densidad. De ser posible establecer esta relación, una extensión basada en el estudio del color, que indique el nivel de madurez, podría ayudar a aumentar la precisión de la estimación de \bar{p} .

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brosnan, T. And Sun, D., 2002. Inspection and Grading Of Agricultural And Food Products By Computer Vision Systems—A Review. En: Computers And Electronics In Agriculture Vol. 36, pp. 193-213.
- [2] Du, C. And Sun, D., 2006. Learning Techniques Used In Computer Vision For Food Quality Evaluation: A Review. En: Journal Of Food Engineering Vol. 72, pp. 39-55.
- [3] Moreda, G.P., Ortiz-Cañavate, J., García-Ramos, F.J. and Ruiz-Altisent, M., 2009. Non-Destructive Technologies For Fruit And Vegetable Size Determination – A Review. En: Journal Of Food Engineering Vol. 92, pp. 119-136
- [4] Departamento Nacional de Planeación, 2002. Información Básica Departamental Magdalena.
- [5] Icontec, Norma Técnica Colombiana Ntc 5139, Frutas Frescas. Mangos Criollos. Especificaciones, 2002, Bogotá D.C.
- [6] Bato, P.M., Nagata, M., Cao, Q.X., Hiyoshi, K. and Kitahara, T., 2000. Study On Sorting System For Strawberry Using Machine Vision (Part 2): Development Of Sorting System With Direction And Judgement Functions For Trawberry (Akihime Variety). En: Journal Of The Japanese Society Of Agricultural Machinery 62 (2), 101/110
- [7] Batchelor, M.M., Searcy, S.W., 1989. Computer Vision Determination Of Stem-/Root Joint On Processing Carrots. En: Journal Of Agricultural Engineering Research 43, pp. 259-269
- [8] Paulus, I. and Schrevens, E., 1999. Shape Characterisation Of New Apple Cultivars By Fourier Expansion Of Digital Images. Journal Of Agricultural Engineering Research 72, pp. 113-118.
- [9] Howarth, M.S. and Searcy, S.W., 1992. Inspection Of Fresh Carrots By Machine Vision. En: Food Processing Automation Ii Proceedings Of The 1992 Conference. Asae, 2950 Niles Road, St. Joseph, Mi 49085-9659
- [10] Pajares Gonzalo y M. de La Cruz Jesús, 2008. Visión Por Computador: Imágenes Digitales Y Aplicaciones, Ra-Ma, pp. 187-188.
- [11] A.L. Vasquez-Caicedo, S. Neidhart, P.Pathomrungsiyoungkul, P. Wiriyacharee, A. Chatracul, P. Sruamsiri, P. Manochai, F. Bangerth and R. Carle, 2002. Physical, Chemical, And Sensory Properties Of Nine Thai Mango Cultivars And Evaluation Of Their Technological And Nutritional Potential, Proc. Intl'. En: Symposium Sustaining Food Security And Managing Natural Resources In Southeast Asia.
- [12] P Yimyam, T Chalidabhongse, P Sirisomboon and S Boonmung., 2005. Physical Properties Analysis Of Mango Using Computer Vision. In: Proceeding Of Iccas 2005, Gyeonggi-Do, South Korea.
- [13] Duda R., Hart P. and Stork D., 2001. Pattern Classification Second Edition, Pp. 655, U.S.
- [14] Guzmán C., Alcalde S., Mosqueda R. y Martínez A., 1996. Ecuación para estimar el volumen y dinámica de crecimiento del fruto de mango cv. Manila, México.
- [15] Sourceforge, 2009. Open Computer Vision Library, [En Linea] <Http://Sourceforge.Net/Projects/Opencvlibrary/>
- [16] Aforge.Net, Framework [En Linea], <Http://www.aforgenet.com/framework/>, 2009

Pedro Atencio Ortiz, Ingeniero de Sistemas de la Universidad del Magdalena. Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Germán Sánchez Torres, Ingeniero de sistemas, Magister en Ingeniería de Sistemas. Actualmente cursa estudios de doctorado en Ingeniería de Sistemas, en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se desempeña como docente de la Facultad de Ingeniería, en la universidad del Magdalena y se ha desempeñado como investigador en distintas áreas de las ciencias de la información, con experiencia en investigación y desarrollo en el campo de la inteligencia artificial, modelado y simulación computacional y sistemas e informática.