

# Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy

---

## Classification system for artificial vision type Tommy mango

**ALVARO ROMERO-ACERO**

*Ingeniero de Control*

*Miembro del Grupo IAE- Facultad de Minas*

*Universidad Nacional de Colombia*

*alromeroac@unal.edu.co*

*Medellín, Colombia*

**ALEJANDRO MARÍN-CANO**

*Ingeniero de Control*

*Miembro del Grupo IAE- Facultad de Minas*

*Universidad Nacional de Colombia*

*amarincan@unal.edu.co*

*Medellín, Colombia*

**JOVANI ALBERTO JIMÉNEZ-BUILES**

*PhD. Ingeniería Sistemas*

*Director del Grupo IAE- Facultad de Minas*

*Universidad Nacional de Colombia*

*jajimen1@unal.edu.co*

*Medellín, Colombia*

*Fecha de recibido: 12/01/2014*

*Fecha de aceptado: 23/10/2014*

**Forma de citar:** ROMERO, Alvaro, MARÍN, Alejandro y JIMÉNEZ, Jovani. Implementación de un esquema de navegación reactiva con sensores RGB-D. Rev.UIS Ingenierías,2015,vol.14,n1,p.p 21- 31.

### RESUMEN

Se presenta una aplicación de visión artificial utilizando el *Toolbox* de procesamiento de imagen de *Matlab*®. El propósito es clasificar el mango de variedad tipo Tommy de acuerdo a sus características de color y tamaño. Para lograrlo se usa una cámara web que captura la imagen en un área de trabajo determinada para tres mangos como máximo. Se describe además la estructura de programación del código *M-file*, los métodos de segmentación y reconocimiento para el procesamiento de la imagen y la obtención de gráficas y resultados que describen el proceso de clasificación mediante la red de decisión.

**PALABRAS CLAVE:** Visión artificial, Procesamiento de imágenes, Visión por computador, Programación estructurada, Red de decisión, Modelo de color *RGB*.

### ABSTRACT

This paper presents an artificial vision application using the image processing toolbox of *Matlab*®. The purpose is to classify the type variety Tommy mango according to their characteristics and size. To achieve web using a camera that captures the image in a particular workspace for three mangos maximum. It also describes the programming structure of the *M-file* code, the segmentation and recognition methods for image processing and graphics and obtaining results that describe the process of classification through the network of choice.

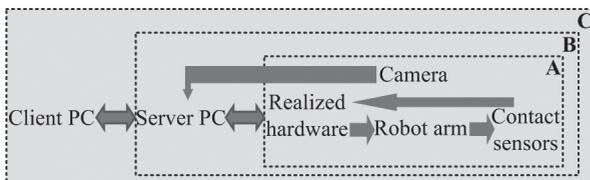
**KEYWORDS:** Artificial vision, Image processing, Computer vision, Structured programming, Decision network, RGB color model.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de visión artificial son herramientas poderosas para la inspección automática de frutas y verduras, que incluye la clasificación mediante parámetros internos y externos que determinan la calidad del producto, además permite una correcta supervisión de los procesos de post-cosecha, hasta llegar al consumidor final. Los sistemas artificiales no sólo sustituyen la inspección humana, sino también mejoran en capacidad y tiempo la clasificación de frutas y verduras (Cubero, S., et al. 2011).

De esta manera al igual que sucede en el ser humano, la capacidad de visión artificial dota al robot con un sofisticado mecanismo de percepción, que permite responder a su entorno de una forma inteligente (González, Lee, 1988).

En la Figura 1 se ilustra las unidades interconectadas que intervienen en un sistema de visión artificial que controla de forma remota un brazo robótico (Vedran, V., et al. 2011), de esta manera el diseño de un sistema de clasificación por visión artificial de mangos es factible y se fundamenta principalmente por las propiedades mencionadas para el procesamiento de imagen aplicado a un desarrollo matemático matricial que se aborda en esta artículo.



**Figura 1.** Unidades interconectadas para el sistema de visión artificial

Es importante mencionar los avances en la inspección de la calidad interna de los frutos, mediante imágenes por resonancia magnética (MRI), tomografía axial computarizada (TAC) o rayos X (Blasco et al., 2010). Aunque de momento son técnicas muy costosas, y hay que seguir investigando para facilitar su instalación y aumentar su eficiencia en los procesos de selección de frutas.

Además como se menciona en (Departamento Nacional de Planeación, 2002), el manejo post-cosecha de frutos como el mango, plátano, aguacate, manzanas, papaya y cítricos, que hacen parte de los frutos climatérico, es decir es aquel que es capaz de seguir madurando incluso después de haber sido recolectado, preservando sus características de calidad para el consumidor final,

además ocurren diversos cambios fisicoquímicos, como la pérdida de firmeza y turgencia, aumento del contenido de sólidos solubles totales, modificación del contenido de lípidos, la disminución de la acidez, degradación y biosíntesis de pigmentos, como clorofilas, xantofilas y carotenoides. Tradicionalmente se han implementado diferentes métodos basados en el seguimiento de los cambios bioquímicos y fisicoquímicos, para evaluar la calidad y el estado de maduración de los frutos, estas aplicaciones trae consigo diversas desventajas, frente a otros métodos modernos como la espectroscopía, quimiometría y visión artificial.

En Colombia la agroindustria del mango, es utilizada para el consumo principalmente en: pulpa, jugo, néctar, salsas, cóctel de frutas con mango como ingrediente, mango deshidratado (rodajas y cuadritos), vino, líquido de cobertura, yogurt con mango como ingrediente y helados. Recientemente se aprobó exportación de trozos o rodajas de mango congelado a EE.UU (Instituto Colombiano Agropecuario, 2013).

Las exportaciones de mango en fresco durante los últimos tres años (2010, 2011 y 2012), muestran un comportamiento variable registrando los mayores volúmenes en 2011, cuando se exportaron 390,1 ton y sólo 57.8 ton en 2012; estos niveles se consideran muy bajos para abastecer las demandas de los mercados internacionales. Los principales destinos de exportación son Canadá (39%); Antillas Holandesas (24%) y algunos países europeos como Francia, Rusia y Países Bajos (Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, 2013).

Dentro de la variedad del mango (*Mangifera indica* L.) Tommy Atkis, es una de las más importantes a nivel nacional e internacional, este tipo de mango es producido en 13 departamentos de Colombia de los cuales, Cundinamarca es el segundo departamento de mayor producción con un 6% del total nacional (Corporación Colombiana Internacional y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013).

En el contexto específico del tratamiento del fruto del mango, en el proceso de la post-cosecha como la clasificación y la supervisión del cumplimiento de la reglamentación colombiana (Norma Técnica Colombiana, 2002), es una tarea implementada manualmente y aplicada fruto por fruto, en cuanto al lavado y selección. Por tal razón, los sistemas de automatización basados en visión artificial, orientado a estos procesos, presentan una alternativa importante en el desarrollo de esta agroindustria.

El artículo está distribuido de la siguiente manera. Inicialmente se contextualiza la agroindustria del mango en Colombia y el estado del arte en los sistemas de selección de frutos. En segundo lugar se describe el proceso de clasificación del mango, mediante visión artificial. Posteriormente se obtiene la estructura de programación, a través del entorno de Matlab®. En cuarto lugar se presenta el modelo de la red de decisión, que determina los indicadores de color en la textura del mango, mediante el modelo de color RGB y finalmente, se obtienen los resultados del procesamiento de la imagen (mango), determinando el color predominante y tamaño del fruto, para luego extraer las conclusiones.

## 2. SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Implementar un sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy, requiere de la integración de los sistemas de hardware y software. En la parte el hardware encontramos la cámara, el procesador de datos (PC), la banda transportadora y el mecanismo de selección (ver Figura 2), y la parte de software constituida por un algoritmo secuencial y la red de decisión, en la cual se incluye los parámetros de selección tamaño y color del mango.

Para determinar las características básicas sobre el sistema de visión artificial que determine el color y tamaño del mango variedad tipo Tommy, se requiere un conocimiento previo de esta especie frutal ya que es de fácil caracterización por su abundancia en la región tropical y posterior comercialización. Para lograr una selección exitosa de este tipo de mango se clasifica en tres tipos predominantes de colores, a saber: amarillo, rojo y verde, los cuales corresponden en gran parte a su grado de madurez. Aunque existen otros tópicos para esta caracterización, es el más adecuado a la hora de obtener resultados favorables (González, Woods, 2002).

En cuanto a la caracterización de tamaño del mango, se deduce por el área que ocupa en la imagen. A continuación se describen los componentes del sistema que hacen parte de la implementación a nivel industrial, en el cual se integran sensores, actuadores, mecanismos y visión artificial para el propósito de la clasificación de mangos (ver Figura 2). Posteriormente el proceso de clasificación cumple con tres etapas fundamentales adquisición, procesamiento y reconocimiento de la imagen.

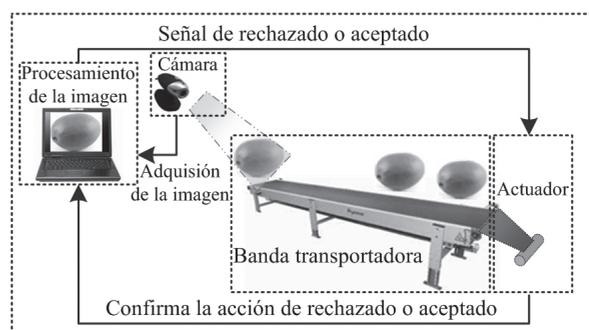


Figura 2. Descripción del proceso de clasificación del mango

Es importante abordar el procesamiento de imagen implementado por herramientas virtuales, que permiten segmentar una imagen en regiones comunes, mediante la detección de la traza límite de cada zona, debido al efecto de producir un cambio significativo por regiones, el cual determina la frontera que delimita el objeto o fruta para este caso (William, 2001).

Además representar una región implica dos opciones básicas en términos de sus características: externas desde la región delimitada (*boundary*) e internas por los píxeles que conforman la región, (González et al. 2004).

### 2.1 Adquisición de la imagen

Es la parte más importante de la clasificación, ya que representa la materia prima para el procesamiento de la imagen que logra obtener un reconocimiento exitoso o fallido. Si la imagen no es apropiada, el algoritmo por robusto que sea no alcanza a dar los resultados esperados.

Por lo tanto, se tienen en cuenta dos factores importantes: el dispositivo que captura la imagen y el tipo de iluminación. La cámara web, encargada de la adquisición de la imagen, debe estar previamente calibrada en tamaño, resolución, tipo de imagen y envío de datos. Para lo anterior, se implementa una rutina de inicio en *Matlab*® que proporciona la información de los dispositivos de captura de la imagen con que cuenta el computador y a su vez proporciona una ventana de visualización para la toma de la imagen.

También se debe adecuar el área de captura para la imagen con el propósito de evitar interferencia de reflejos y cambios de iluminación del ambiente para el posterior procesamiento de la imagen (González, Woods, 1994).

## 2.2 Procesamiento de la imagen

Luego de adquirida la imagen configurada en formato *RGB*, se procede al análisis por medio del *Toolbox* de procesamiento de imágenes de *Matlab*® haciendo uso de las propiedades matriciales. En efecto se realiza la conversión de matrices *RGB* a binaria y escala de grises. A su vez se utilizan métodos de dilatación y erosión, generando una rejilla de frontera adecuada para la respectiva segmentación de la imagen. El parámetro de la rejilla es ajustable según las necesidades del usuario.

Hay algunos detalles que estos métodos mencionados no pueden suplir, entonces se recurre a la función *Fill*, la cual garantiza una región uniforme en su interior. Posteriormente, se generan los histogramas correspondientes a la matriz *RGB* para determinar estadísticamente la cantidad de píxeles que presenta la imagen. Se utilizan dos funciones importantes para la previa caracterización de la imagen *Regionprops* y *bwboundaries*. La primera consiste en determinar las regiones y la segunda en trazar los contornos de la imagen para proceder a la toma (Blanchet, Charbit, 2006).

## 2.3 Reconocimiento

Es la parte encargada de identificar la toma de decisiones para cada mango y describir sus características tomando como referencia el método de decisión estructural. Se tiene en cuenta la segmentación por medio de la forma del mango, limitando la región de interés. Para caracterizar el color, se adecua la imagen a una matriz *RGB*. Esta imagen proporciona niveles en colores rojo, verde y azul respectivamente, los cuales al combinarlos se obtiene el color de identificación amarillo, verde y rojo que se desea para el mango.

De esta forma lo que se pretende es dar un porcentaje de proporción a cada color. Este parámetro de porcentaje es ajustable por los requerimientos de calidad del usuario, lo cual consiste en que la matriz de la imagen se lleve a una matriz monocolor.

Este tipo de procesamiento entre matrices aumenta significativamente el tiempo de ejecución, ocasionando problemas a la hora de obtener resultados en tiempo real. Para esta parte se implementa un algoritmo soportado en la suma total de los píxeles agrupados por cada matriz *RGB* con el propósito de trabajar con cantidades decimales en vez de matrices (Galvis, L., et al. 2011).

Por otro lado, la caracterización del tamaño se obtiene al aplicar la función *Regionprops* encargada de brindar características de la imagen como el área, la caja de mínima área contenida, el perímetro, entre otras. De las anteriores, el área es el punto de referencia para el cálculo del tamaño. Para este caso el área viene determinada por un número que corresponde a la cantidad de píxeles que contiene el mango en la imagen.

Por lo tanto, este parámetro es considerado por el usuario y se debe colocar a punto, teniendo en cuenta la distancia de la cámara respecto al área de trabajo y el tamaño en píxeles de la imagen, parámetros usados como puntos de referencias para el procesamiento y reconocimiento de la imagen. Por último, el algoritmo genera un recuadro informativo en el cual se describe su color predominante amarillo, verde o rojo, un mensaje de aceptado o rechazado y el tamaño del mango pequeño u óptimo (Al-Hadithi., et al. 2006).

## 3. ESTRUCTURA DE PROGRAMACIÓN

La implementación del algoritmo en *Matlab*® que se ilustra en la Figura 3, es realizada mediante las funciones y métodos, que permiten la ejecución del programa estructurado en un ciclo cerrado (Pedraza, B., et al. 2011).

La estructura del programa, se encuentra diseñado de forma que la configuración inicial de la cámara se realice una sola vez. Luego del procesamiento de la imagen se ingresa a un condicional de identificación sino encuentra objetos (mangos) se reinicia esta acción sin utilizar los demás recursos del programa. En caso de que detecten objetos (mangos) sigue con el análisis de la imagen hasta presentar los resultados (Gopi, 2007).

Luego muestra un lazo realimentado que conecta la salida de los resultados nuevamente al procesamiento de imagen. Inmediatamente se ejecuta el programa en un ciclo finito determinado por el usuario según el número dado al parámetro (*eject*). Por cada ejecución del programa se captura una nueva imagen de forma automática (ver Figura 3).

### 3.1 Configuración de la cámara

A continuación, se describe parte del código contenido en el archivo *M-File*, el cual representa la descripción más importante del programa. Primero se inicia el programa con la configuración de la cámara web (ver Figura 4): tipo de formato (*'rgb'*), tamaño de imagen en

pixeles (640x480) y tiempo de captura determinado por el pause (segundos).

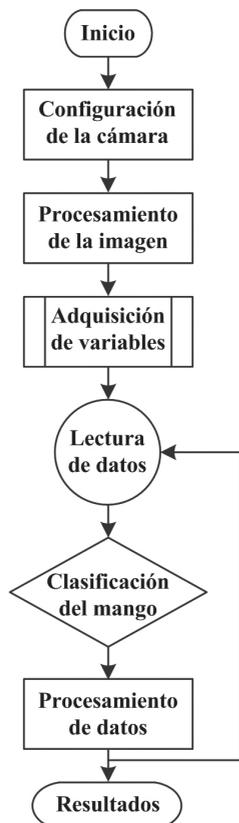


Figura 3. Estructura del programa

```

video=videoinput('winvideo',1,'YUY2_640x480');
set(video);
video.ReturnedColorSpace='rgb';
preview(video)
pause(1)
im_RGB=getsnapshot(video);
  
```

Figura 4. Inicio y configuración de la cámara

### 3.2 Pre-procesamiento de la imagen

Para el pre-procesamiento de la imagen (ver Figura 5), se ejecutan las siguientes funciones: a partir del umbral convierte la imagen en binaria (*im2bw*), convierte la imagen *RGB* a escala de grises (*rgb2gra*), crea una estructura morfológica de la imagen (*strel*), encuentra los bordes de la imagen (*edge*), dilata la imagen (*imdilate*), elimina impurezas en la imagen

binaria (*Imfill*), erosiona la imagen (*Imerode*), recorta la imagen (*Imcrop*).

```

eject=10;
nn=0;
while nn<eject
im_bin=im2bw(im_RGB,umb);
im_gray=rgb2gray(im_RGB);
im_edge=edge(im_gray,'sobel');
im_dilate=imdilate(im_edge,SE);
fill=imfill(im_dilate,'holes');
im_erode=imerode(not(im_edge),SE2)
  
```

Figura 5. Pre-procesamiento de la imagen

### 3.3 Adquisición de variables

En consecuencia, la adquisición de datos y variables se procesan mediante las siguientes funciones: las propiedades de la región de interés (*regionprops*), evaluar los pixeles a lo largo de la línea *RGB* (*improfile*), crear el histograma de una determinada imagen (*Inhist*), componente rápido de conexión para imágenes en 2-D (*bwlabel*), trazar los límites de la imagen binaria (*bwboundaries*), (The Mathworks, 2003).

```

[l ne]=bwlabel(im_bin2);
propied=regionprops(l);
s=find([propied.Area]<3000);
B=bwboundaries(im_bin2);
RECO=imcrop(im_RGB,[CAJA1]);
  
```

Figura 6. Adquisición de variables

### 3.4 Clasificación de color y tamaño

Se toma la ecuación (1) aplicada al planteamiento de la red de decisión (ver figura 11) para determinar los colores predominantes. La estructura del código de la Figura 7, se compone de: los valores porcentuales de color *RGB* (*SR*, *SG* y *SB*) y se adicionan los pesos ( $W_i=0.075$ ) determinados heurísticamente. Para el tamaño se define como área de referencia 5000 pixeles ( $T=5000$ ) parámetro definido por el usuario (ver Figura 8).

```

if ((SR-SG)>=(SG-SB))&((SR-SR*0.075)>SG)
fprintf('%s%\n','COLOR: PREDOMINANTEMENTE ROJO')
elseif ((SR-SG)<=(SG-SB))&((SR-SR*0.075)>SG)
fprintf('%s%\n','COLOR: PREDOMINANTEMENTE AMARILLO')
else
fprintf('%s%\n','COLOR: PREDOMINANTEMENTE VERDE')
end
  
```

Figura 7. Clasificación de color

```

T=5000;
fprintf('%s%\n','CARACTERISTICAS MANGO TOMMY 1:')
fprintf('\n')
AREAL=AREA(1,1);
if (AREAL<=T)
    fprintf('%s%\n','TAMAÑO: PEQUEÑO')
else
    fprintf('%s%\n','TAMAÑO: ÓPTIMO')
end

```

Figura 8. Clasificación de tamaño

### 3.5 Dedución de resultados

Los resultados se deducen en la Figura 9, los cuales determinan los parámetros de clasificación como: la cantidad de mangos que contiene la imagen 1, 2 o 3 unidades, el tamaño pequeño u óptimo, color predominante y el porcentaje de color *RGB* que aporta cada mango.

```

NÚMERO DE MANGOS TIPO TOMMY: #
CARACTERISTICAS MANGO TOMMY 1:
TAMAÑO: (PEQUEÑO U ÓPTIMO)
COLOR: PREDOMINANTEMENTE (verde, amarillo, rojo)
RESULTADO: MANGO (RECHAZADO O ACEPTADO)
PORCENTAJE COLORES RED GREEN BLUE:

```

Figura 9. Resultados en Command Windows

## 4. RED DE DECISIÓN

Luego de mostrar la estructura del programa para el procesamiento de la imagen se procede a la toma de decisión a partir del modelo *RGB* ilustrado en la Figura 10, mediante la matriz (1) y la ecuación (1), los parámetros (m, n, p) corresponden al número de filas, columnas y profundidad de la matriz respectivamente, (Besari, A., et al. 2010).

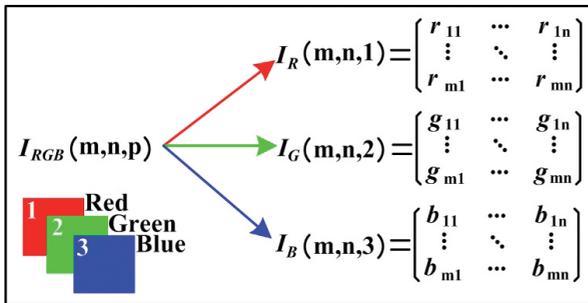


Figura 10. Representación matricial del modelo RGB

$$C_p = \frac{\sum_{m=1}^n (\sum_{n=1}^m a_{mn})}{n \cdot m \cdot 255} \times 100\% \quad (1)$$

$C = \text{Color} ; p=1,2,3 ; a=r,g,b$

Posteriormente, se le asignan los pesos ( $W_i$ ) a cada porcentaje de color. Estos pesos se obtienen de forma

heurística dependiendo de los factores mencionados en la adquisición de la imagen. Los pesos cumplen con el propósito de manejar un rango de ajuste en la gama de cada color y lograr así una clasificación exitosa (ver Figura 11).

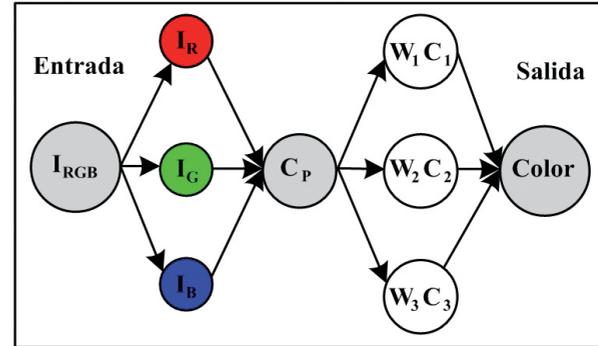


Figura 11. Red de decisión

Para ajustar los pesos ( $W_i$ ), se realiza inicialmente una relación lógica de cada componente *RGB* de la imagen, información proporcionada por la ecuación (1).

Las sentencias *If*, *Elseif* y *Else* (ver Figura 7) encargadas de tomar la decisión si el mango es predominantemente rojo, amarillo y verde de manera respectiva. Para definir estas sentencias se procede a realizar dos bloques lógicos excluyentes (ecuaciones 2 y 3) que se definen de la siguiente manera:

- Si se cumple la ecuación (2) implica el caso del color predominantemente rojo lo cual es un mango aceptado.

- Si se cumple la ecuación (3) implica el caso del color predominantemente amarillo lo cual también es un mango aceptado.

- Si no se cumplen la ecuaciones (2 y 3) implica el caso del color predominantemente verde lo cual es un mango rechazado. Para el caso que se cumplan las ecuaciones (2 y 3) no hay problema ya que este sistema lógico es excluyente y evita los eventos simultáneos en la decisión.

$$\begin{aligned} & ((SR - SG) \geq (SG - SB)) \wedge \\ & ((SR - SR * 0.075) > SG) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & ((SR - SG) \leq (SG - SB)) \wedge \\ & ((SR - SR * 0.075) > SG) \end{aligned} \quad (3)$$

El punto crítico de la designación para las sentencias lógicas es el valor de 0.075 obtenido de forma

experimental a partir de la ejecución del programa con una variedad de cien mangos dado que en cada ejecución brinda la información porcentual *RGB*, hasta lograr estabilizar los resultados de forma correcta.

En consecuencia, se muestra el análisis de resultados tomando el promedio para tres mangos (ver Tabla 1) y de la misma manera se realiza para cien mangos (ver Tabla 2).

**Tabla 1.** Porcentajes *RGB* para tres mangos

Cantidad de mango	Color	Porcentaje de colores <i>RGB</i>		
		SR (%)	SG (%)	SB (%)
1	Rojo	18	9	6
1	Amarillo	21	17	8
1	Verde	18	17	10

**Tabla 2.** Porcentajes *RGB* para cien mangos

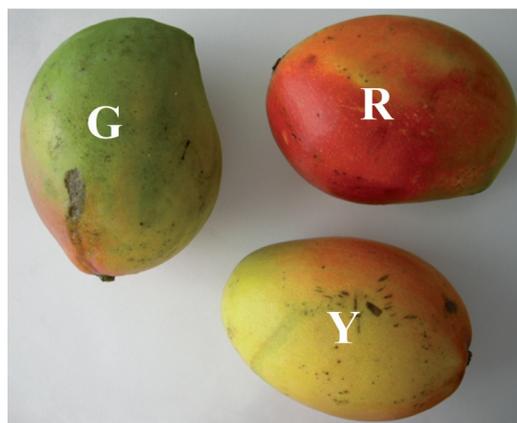
Cantidad de mangos	Color	Porcentajes de color promedio		
		(%)	(%)	(%)
30	Rojo	16	10	7
30	Amarillo	19	16	7
40	Verde	16	20	9

## 5. RESULTADOS

El sistema de clasificación presenta una alternativa importante de segmentación, ya que se pueden tener en una misma área de trabajo hasta tres mangos y reconocer sus características principales por los colores predominantes: amarillo, verde o rojo, para darle seguimiento a la clasificación de mangos se etiquetan respectivamente a los colores mencionados (*Y, G, R*).

### 5.1 Ejecución del sistema de clasificación

En primer lugar al ejecutar el programa, aparece un cuadro de texto, que contiene el mensaje: “*Captura imagen Ok*”, de esta forma se adquiere la imagen (ver Figura 12). A continuación se ilustra la ejecución del programa, mediante las figuras y cuadros de texto que guían al usuario.

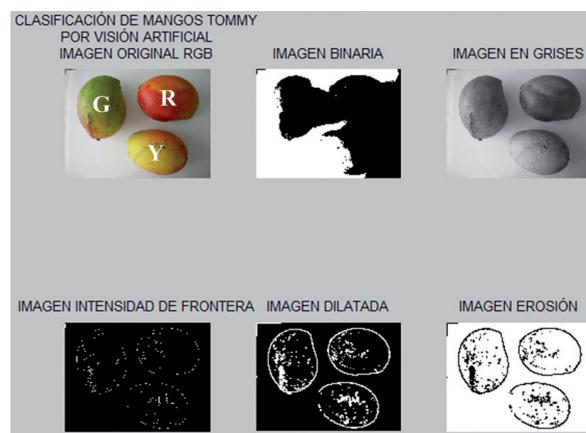


**Figura 12.** Imagen capturada

### 5.2 Dilación y erosión de la imagen

Los primeros resultados presentados en forma gráfica consisten en analizar los píxeles de la imagen binaria. De esta manera se demarca la frontera aplicando los métodos de dilatación y erosión.

Estos resultados se describen en la Figura 13 de izquierda a derecha iniciando en la primera fila: a) Imagen original de captura; b) Imagen binaria; c) Imagen en escala de grises; d) Imagen intensidad de frontera; e) Imagen dilatada; f) Imagen erosión. Estas dos últimas imágenes hacen referencia al método que se usa para la segmentación de cada imagen (Qureshi, 2005).



**Figura 13.** Procesamiento de imagen A

### 5.3 Recuadro y corrección de la imagen

Posteriormente, se tiene la segunda figura del procesamiento de la imagen (ver Figura 14). Allí se describe el contenido de las imágenes procesadas de izquierda a derecha, iniciando en la primera fila: a) Imagen erosión *Fill*; b) Imagen dilatación *Fill*, en estas dos imágenes se corrige la parte interior de la imagen binaria definiendo aún mejor el contraste negro y blanco; c) Imagen diferencia *Fill*, hace que la diferencia entre los dos métodos dilatación y erosión; d) Imagen delimitada por rectángulos.

En la imagen delimitada por rectángulos, se puede apreciar una fase importante de la segmentación la cual identifica los tres mangos y además muestra sombras pequeñas sobre la imagen que encierran detalles e imperfecciones del mango; e) Imagen binaria corrección de ruido, en esta imagen se muestra una corrección de los detalles como sombras pequeñas sobre la imagen; f) Imagen original de captura, se tiene como referencia para identificar y comparar el procesamiento en esta parte del programa (Theodoridis, Koutrumbas, 2010).

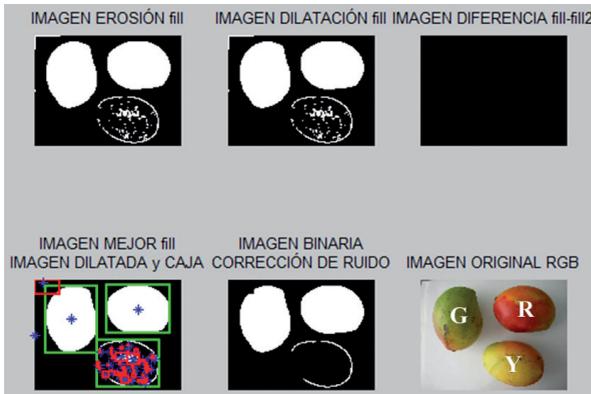


Figura 14. Procesamiento de imagen B

### 5.4 Histogramas de la imagen

Por consiguiente, la Figura 15 consiste en el estudio estadístico de los píxeles que contienen la imagen de los mangos (Pajares, Cruz, 2001).

De esta manera se utilizan los recursos gráficos en histogramas, los cuales proveen la información de la

concentración de píxeles en cada tipo de color R, G y B, se presentan de la siguiente manera: a) Imagen original segmentada por rectángulos, la escala de medida y el centro de área que ocupa cada mango; b) Imagen *Improfile* que determina el estudio gráfico en tres dimensiones del comportamiento *RGB*, en este caso se realizó para el mango de la parte superior-izquierda en cuatro puntos cercanos a su centro de área; c) Histograma *RGB* de la imagen original, el cual describe la concentración de píxeles dentro de un dominio de 0 a 255 y un rango en cantidad de píxeles; d) Imagen *RED* del primer mango; e) Imagen *GREEN* del primer mango; f) Imagen *BLUE* del primer mango. Estas imágenes que describen separadamente la concentración *RGB* para el primer mango, permiten visualizar cual presenta el mayor contenido en cada uno de los colores. En las tres últimas imágenes g), h) e i) Se presentan los histogramas correspondientes de cada imagen R, G y B (Barrientos, A., et al. 1997).

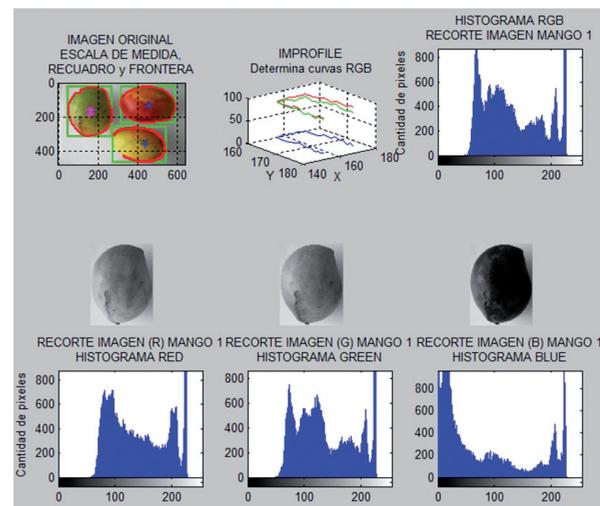


Figura 15. Procesamiento de imagen C

### 5.5 Análisis de la imagen

Las figuras 16 y 17 presentan el mango amarillo y rojo respectivamente, distribuidos de la siguiente forma: a) Imagen original *RGB*; b) Imagen segmentada y recortada; c) imagen recortada y segmentada exhibida en escala de grises; d) Histograma general de la imagen sobre la región de interés.

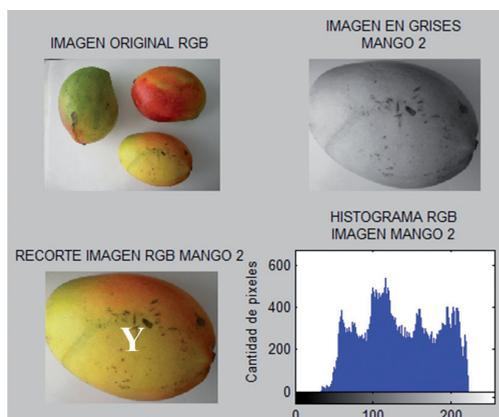


Figura 16. Procesamiento de imagen D

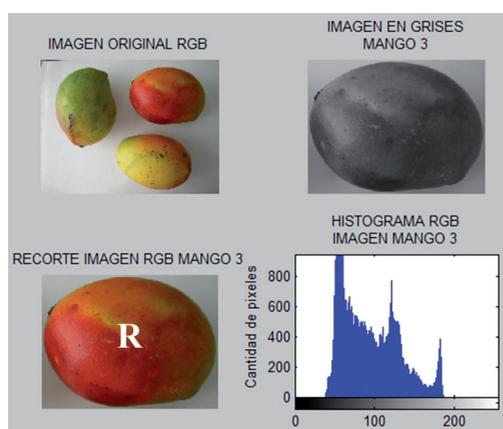


Figura 17. Procesamiento de imagen E

## 5.6 Resultados de decisión

El programa envía un cuadro de mensaje, “Mango # (decisión de rechazado o aceptado) predominantemente (color), OK”, para cada mango (ver Figura 18). De esta forma se presentan los resultados y así nuevamente se mantiene el sistema de clasificación en ciclo cerrado.

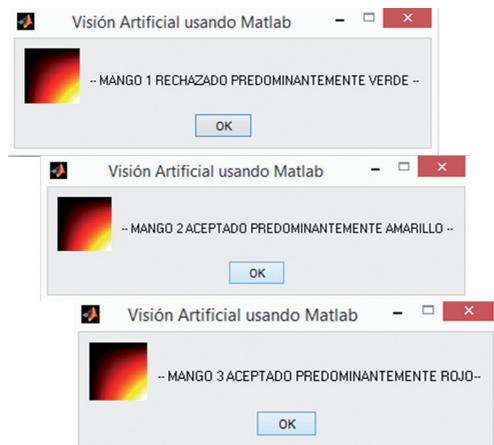


Figura 18. Mensajes de resultado

Por último, el programa presenta otra forma de información de los resultados, a través del *Command Windows* de *Matlab*®, en el cual se puede observar los siguientes parámetros: números de mangos detectados en la imagen, tamaño, color predominante y resultado. En el caso del primer mango etiquetado con la letra (G) se obtuvo como resultado un tamaño óptimo, pero no es aceptado por el color del mango (verde predominante), por consiguiente se rechaza. En el caso de los otros dos mangos, aunque uno de ellos es pequeño, el programa lo acepta ya que los requerimientos principales definidos por el usuario fueron los siguientes: “que el mango fuera de color predominante amarillo o rojo sin importar su tamaño” (ver Figura 19).

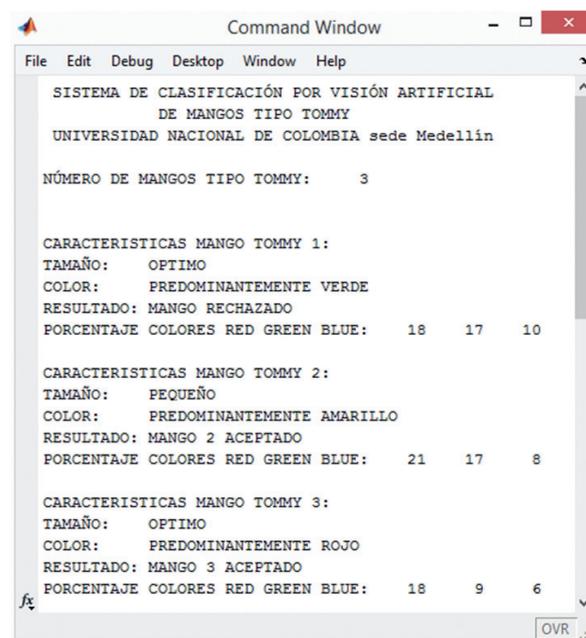


Figura 19. Resultados en Command Windows de Matlab®

## 6. CONCLUSIONES

La tecnificación en la producción de mango en Colombia se ha dejado en gran parte al cultivo, y muy escaso en el avance tecnológico de la post-cosecha, que aún se continua con procesos manuales en la selección e identificación de características físicas del mango, lo cual no permite un desarrollo agroindustrial en toda la cadena de producción del mango.

El aporte de la visión artificial permite la identificación de características presentes en el mango, de esta manera realizar la estimación en tiempo real de la calidad de cada fruta, asegurando una selección completa fruta a fruta de la producción. Además esto permite consolidar registros de inspección y base de datos estadísticos de

la producción, que determine el mayor índice de daños en el mango y lograr una realimentación en la cadena productiva del mango.

El procesamiento de imágenes, es más rápido cuando se maneja un solo valor que cuantifica a cada color *RGB* en vez de procesar matrices que consumen grandes recursos para el manejo de la información, es por ello la importancia de aplicar la ecuación (1), usando la red de decisión para la obtención de resultados en tiempo real.

Las ecuaciones condicionales (1 y 2) son las encargadas de tomar la decisión de color predominante de la imagen dentro del programa, la experiencia con el análisis a cien mangos, muestra que la tendencia de comportamiento de la Tabla 1 es similar a la Tabla 2, de tal manera que el valor porcentual determinado (7.5%) es un ajuste experimental, este valor puede variar dependiendo de las condiciones del entorno donde se implemente este sistema.

Los histogramas presentados en el análisis gráfico, dan un acercamiento de la predominancia en los colores *RGB* de la imagen, pero no se puede tomar una decisión confiable con solo este criterio, por ello se implementó la red de decisión que tiene en cuenta otras características.

El sistema de clasificación de mangos presenta dependencia de los parámetros establecidos por el usuario como la rejilla, la calidad de la imagen, el tamaño del mango y el color predominante, por lo tanto es factible implementar esta estructura de programación para una línea de producción automatizada de selección, ya que actúa de forma rápida y eficiente arrojando resultados en tiempo real y a demás pueda ser configurada de acuerdo a los estándares de calidad y producción.

La flexibilidad del programa permite que su aplicación se extienda a otros tipos de frutas con características de selección similares y/o enfocarse al reconocimiento de formas y colores, a su vez permite la detección de fallas y mejoras del mismo en cada bloque del pre-procesamiento de la imagen con el fin de ajustar los parámetros ideales del sistema de clasificación.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El trabajo descrito hace parte del proyecto “Sistema sensorico para la inspección de autopartes en la línea de ensamble” ejecutado por el grupo de investigación Inteligencia Artificial en Educación y financiado por el Departamento Administrativo Nacional de Ciencia,

Tecnología e Innovación COLCIENCIAS dentro de la convocatoria 569 - 2012 Banco de proyectos de CTel.

## 8. REFERENCIAS

CUBERO, S., et al. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables, Food and Bioprocess Technology. Springer-Verlag., 2011. vol. 4(4), pp. 487-504.

FU, K., et al. Robótica: control, detección, visión e inteligencia. McGraw-Hill., 1988, pp. 306-460.

VEDRAN, V., et al. Remote control of robot arm with five DOF, IEEE conferences MIPRO, Proceedings of the 34th International Convention, 2011, pp. 1707-1711.

BLASCO, J., et al. Avances en visión artificial automática de productos hortofrutícolas, Poscosecha - Horticultura global, 2010, pp. 48-50.

DNP, Departamento Nacional de Planeación, Información Básica Departamental Magdalena, 2002.

ICA, Colombia podrá exportar mango fresco en rodajas a EE.UU. Boletín de prensa 2013. Bogotá, Colombia. <<http://www.ica.gov.co/Noticias/Agricola/2013/Colombia-podra-exportar-mango-fresco-en-rodajas-a.aspx>> [consulta: 5-6-2014].

CORPOICA, Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, Asociación Hortifrutícola de Colombia, Asohofrucol. Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima, Boletín de prensa 2013. Bogotá, Colombia.

Corporación Colombiana Internacional (CCI) y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Encuesta Nacional Agropecuaria, 2010, Bogotá.

ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 5139, Frutas Frescas, Mangos Criollos, Especificaciones,” 2002, Bogotá, Colombia.

GONZALEZ, R; WOODS, Digital image processing “Instructor’s Manual”. 2nd ed. Prentice Hall, 2002.

WILLIAM, K. Digital image processing. 3th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001, pp. 399-640.

GONZALEZ, R., et al. Digital image processing using Matlab. 3th ed. Prentice Hall, 2004, pp. 379-593.

GONZALEZ, R; WOODS, R. Tratamiento Digital de Imágenes. Addison-Wesley, 1994.

BLANCHET, G; CHARBIT, M. Digital Signal and Image Processing using MATLAB. ISTE Ltd., 2006.

GALVIS, L., et al. Tratamiento digital de imágenes e inteligencia artificial aplicados a la perforación de pozos petroleros, Revista Fuentes: El Reventón Energético vol. 9, No. 1 de 2011, pp 21-31.

AL-HADITHI., et al. Interfaz Visual para el Prototipado Rápido de Clasificación de Gajos de Mandarina Basado en Redes Neuronales,” *Tecnologi@ y desarrollo*. 2006. vol. 4, pp. 3-27.

PEDRAZA, B., et al. Sistema de reconocimiento facial basado en imágenes con color, *UIS Ingenierías*, 2011, vol. 10, No. 2, pp. 113-122.

GOPI, E. Algorithm Collections for Digital Signal Processing Applications Using Matlab. Springer, 2007.

THE MATHWORKS. Image Processing Toolbox for use with Matlab user's Guide. 4 version Boston Mass. 2003.

BESARI, A., et al. Computer vision approach for robotic polishing application using artificial neural networks, *IEEE*, 2010, pp. 281-286.

QURESHI, S. Embedded Image Processing On The TMS320C6000™ DSP. Springer, 2005.

THEODORIDIS, S. and KOUTRUMBAS, S. An Introduction to Pattern Recognition: A MATLAB Approach. Elsevier, 2010.

PAJARES, G. and de la Cruz, J. M. Visión por Computador. Imágenes Digitales y Aplicaciones. Ra-Ma. 2001.

BARRIENTOS, A., et al. Fundamentos de Robótica. McGraw-Hill, 1997.



Alvaro Romero Acero Ingeniero de Control. Grupo de Investigación Inteligencia Artificial en Educación, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, miembro estudiante ISA (International Society Automation) sección Colombia. Sus áreas de interés son las redes inalámbricas basadas en el protocolo *ZigBee*, robótica y aplicaciones en control automático.



Alejandro Marín Cano Ingeniero de Control. Grupo de Investigación Inteligencia Artificial en Educación, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Sus áreas de interés son las redes inalámbricas basadas en el protocolo *ZigBee*, robótica y aplicaciones en control automático.



Jovani Alberto Jiménez Builes Profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Doctor en Ingeniería - Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. Pasantía doctoral Grupo de Inteligencia Artificial, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Magíster en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. Licenciado en Docencia de Computadores, Universidad de Medellín, Colombia. Ha realizado dos pasantías de investigación después de finalizar su doctorado, en Massachusetts Institute of Technology - MIT, Estados Unidos y Universidad Autónoma de Madrid, España. De igual manera, llevó a cabo una visita académica y tecnológica a nueve laboratorios de seis universidades en varias ciudades de Japón.