CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL CHONTADURO (*Bactris Gassipaes)* PARA SU APLICACIÓN EN CONSERVA, MERMELADA Y HARINAS

AUTOMATIC CLASSIFICATION OF THE CHONTADURO (*Bactris gassipaes*) FOR APPLICATION IN PRESERVE, MARMALADE AND FLOURS

SANDRA PATRICIA GODOY[1], LEONAIRO PENCUE[2], AMANDA RUIZ[2], DIANA CAROLINA MONTILLA[2]

PALABRAS CLAVE:

Chontaduro (*Bactris gassipaes*), banda giro transportadora, inspección visual automática, prácticas post-cosecha, conservación, atributos de calidad.

KEYWORDS:

Chontaduro (*Bactris gassipaes*), band rotates transporter, automatic visual inspection; you practice post-crop, conservation, attributes of quality.

RESUMEN

La agroindustrialización y diversificación del consumo del chontaduro, es una alternativa para utilizar al máximo las diferentes cosechas, aprovechar su contenido nutricional y evitar la pérdida de grandes volúmenes de este fruto como sucede en la actualidad. Este proyecto se ha centrado en plantear una solución al problema de la sobreproducción del chontaduro en las diferentes regiones del país abriendo posibilidades de posicionamiento de este exótico fruto en mercados internacionales. Mediante la inspección visual y el procesamiento digital de imágenes como herramienta para la clasificación del fruto en distintas categorías y para el control de calidad es evidente que, entre los parámetros más importantes que definen la calidad del fruto, están el aspecto externo y su color. Para lograrlo, se diseña un sistema de inspección que clasifica el chontaduro para su aplicación en derivados evaluando el color, presencia de defectos, tamaño, forma y presencia de cáliz. El porcentaje de fiabilidad total del sistema es del 96%, considerado como excelente resultado ya que, para la gran mayoría de frutos se hace constar que la norma contempla hasta un 10% de tolerancia en cada clasificación para su respectiva aplicación. Actualmente se están ajustando los tiempos que utiliza el sistema para inspeccionar, analizar y dar un resultado definitivo, por cuanto no son los más apropiados para la clasificación de frutos en línea; pero, actualmente existen muchas formas y métodos que permiten hacer una reducción considerable de los tiempos de procesamiento.

Recibido para evaluación: Abril 18 de 2007. Aprobado para publicación: Junio 20 de 2007

1 Sandra Godoy, Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad del Cauca.
Leonairo Pencue Fierro, Docente Departamento de Física Universidad del Cauca
2 Egresadas del programa ingeniería Física Amanda Ruiz Hoyos
Diana Montilla Perafán

Correspondencia: Sandra Godoy, E-mail: sgodoy@unicauca.edu.co

ABSTRACT

The agriculture industrialization and diversification of the consumption of the chontaduro, are an alternative to use to the maximum the different crops, to take advantage of their nutritional content and to avoid the loss of big volumes of this fruit like it happens at the present time. This project has been centered in outlining a solution to the problem of the high production of the chontaduro in the different regions of the country and of the positioning of this exotic fruit in international markets, using the visual inspection and the digital prosecution of images like tool for the classification of the fruit in different categories and for the control of quality; since it is evident that, their external aspect and their color are among the most important parameters that define the quality of the fruit. To achieve it, an inspection system is designed that classifies the chontaduro for its application in having derived evaluating the color, presence of defects, size, forms and chalice presence. The percentage of total reliability of the system is of 96%, considered as excellent been since, for the great majority of fruits it is made consist that the norm contemplates until 10% of tolerance in each classification for its respective application. The times that it uses the system to inspect, to analyze and to give a definitive result, they are not the most appropriate for the on-line classification of fruits; but, at the moment, there are many forms and methods that allow to make a quite considerable reduction of the times of prosecution.

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en las instalaciones del laboratorio del Grupo de Óptica y Láser, del Departamento de Física, perteneciente al programa Ingeniería Física y contó con la colaboración del Departamento de agroindustria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, lograndose establecer un modelo para la Implementación del prototipo para clasificación de frutos de chontaduro, compuesto por un sistema de Inspección visual automático (SIVA), implementado para clasificar frutos dependiendo del color, presencia o ausencia de defectos, presencia o ausencia de cáliz, tamaño y forma, con el objeto de establecer el uso final de los frutos clasificados de acuerdo con parámetros especiales o atributos de calidad y seleccionarlos para posteriores procesos de transformación ya sea para fabricación de harinas, mermeladas o conservas.

Para la clasificación automática se diseñó una banda trasportadora para la adquisición de imágenes de los frutos en movimiento con una cámara JVC profesional TK_C1380U de arquitectura Interline Transfer y un objetivo Cosmicar/Pentax 12 mm. Los diferentes algoritmos tanto, de segmentación por combinación de histogramas como de clasificación por K_medias, se implementaron haciendo uso del sistema de programación interactivo y cuantitativo QWIN/QUIPS; herramienta de software disponible en la estación de trabajo LEICA Q550IW, paquete computacional para procesamiento y análisis avanzados de imágenes en el laboratorio de de óptica y láser de la Universidad del Cauca; para la adquisición de las imágenes se implementó una cámara de iluminación difusa y un sistema mecánico, de tal forma que se obtuviese la superficie total del mismo en una imagen.

CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO Y CRITERIOS DE POSTCOSECHA

Mediante la aplicación de técnicas postcosecha a productos hortofrutícolas se busca mantener la calidad (apariencia, textura, sabor, valor nutritivo y sanitario) y reducir las pérdidas entre la cosecha y el consumo. La clave para alcanzar estos objetivos es un manejo eficiente durante el período de postcosecha, mediante el uso de tecnología que permita la evacuación rápida del producto para su posterior clasificación (color, frutos de desecho, presencia de defectos, tamaño y forma).

El chontaduro Bactris gassipaes fruto importante de la agrobiodiversidad del trópico húmedo de América Latina, se encuentra bien representado en las regiones del Pacífico y Amazonía Colombiana. Importante por su aporte en nutrientes (carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y fibra) este fruto, cultivado artesanalmente, y cosechado dos veces al año, es gran exponente de la nutraceútica, es decir aquellos que además de ser alimentos cumplen la función medicinal [1].

Con base en estudios realizados por Corpoica, y Cámara de Comercio del Cauca sobre las perspectivas

futuras del mercado internacional se indica que la posibilidad de la expansión es muy grande, estando limitada solo por la falta de diversificación y promoción de sus derivados. La competencia siempre estará presente, la cual será por calidad, precios y diversidad de productos. La evolución de la tecnología del cultivo, con aumento del rendimiento y una reducción de los costos de producción, que incluye la introducción de nuevas variedades, contribuirán a la competitividad de los países productores. Sin embargo, el fomento del cultivo debe ser bien planificado y requiere involucrar productores con vocación empresarial que den un manejo técnico al cultivo, proyectándose hacia producciones rentables [2].

A. Producción

Un racimo normal puede contener entre 50 a 100 frutos, con rendimientos que pueden ir de 100 a 3500 kilogramos por hectárea, generalmente repartidas en dos cosechas por año. El crecimiento y formación se realiza en dos fases: en la primera el fruto crece en tamaño y peso, y en la segunda ocurre la maduración. Dependiendo del tamaño del fruto, las variedades se clasifican en: microcarpas (frutos con peso menor a 20gr.), mesocarpas (frutos con peso entre 21 y 70 gr.) y macrocarpas (frutos con peso superior a 70 gr.) [3].

B. Valor Nutricional

Los análisis físico-químicos realizados sobre 100 gramos de parte comestible. revelan según Tabla 1, el valor nutricional de éste fruto.

Tabla 1. Información Nutricional [1]

VALOR NUTRICIONAL	%
Carbohidratos:	37.6
Agua:	52.2
Grasa:	4.6
Proteína:	3.3
Fibra:	1.4
Calcio:	23 mgr.
Fósforo:	47 mgr.
Hierro:	0.7
Calorías:	185
Aceite:	2-60

Fuente Corporación Autónoma Regional Del Cauca Crc

C. Principales Enfermedades

En el chontaduro se encuentran dos principales enfermedades causadas por hongos. Adicionalmente presentan daños mecánicos en la epidermis o piel a causa de las espinas de la palma o al proceso de cosecha, estos daños provocan susceptibilidad para su contaminación. En el presente proyecto se les ha asignado la característica de defectos tipo 1, 2 y 3 para facilitar su distinción.

La podredumbre negra del fruto es causada por el hongo, *Ceratocystis spp*. El fruto se suaviza y su piel cambia a color negro. La pulpa aparece inicalmente de color amarillo y después negra. A estos defectos se les denomina tipo 1.

La pudrición blanca del fruto, causada por el hongo Monilia sp, se destaca cuando parte de la superficie se pone blancuzca y presenta mal olor. La denominación de estos defectos es de tipo 2.

Por último, los defectos causados por daños mecánicos, espinas de la planta o deformaciones se les llaman tipo 3.

VARIEDADES Y APLICACIONES AGROINDUSTRIALES [4]

En la región del El Tambo Cauca, se cosechan diferentes variedades de chontaduro, las cuales no han sido estandarizadas ni se ha explotado su potencial para el desarrollo de nuevos productos; por esta razón la Universidad del Cauca con el apoyo de varias Facultades desarrolló en 2004 el proyecto denominado "Fortalecimiento integral de la minicadena de la palma de chontaduro" y mediante convenio con el centro de productividad e innovación del Cauca CREPIC la Vicerrectoría de investigaciones coordinó las actividades que se desprendieron de esta iniciativa. De manera particular encargó a docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias investigar y diseñar nuevos productos a partir del fruto, para lo cual se realizaron una serie de pruebas para lograr estandarizar los procesos y subproductos; Como resultado se obtuvo que entre los diversos tamaños, formas y color de los frutos se definieron tres variedades para su aplicación exclusiva en conservas, las cuales se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Características de Frutos para Conservas [4].

VARIEDADES	CARACTERÍSTICAS
Variedad 1	frutos con pigmentación naranja y forma cónica
Variedad 2	frutos con pigmentación roja y forma cónica achatada
Variedad 3	frutos con pigmentación roja y forma cónica alargada

Características del fruto para el ingreso a proceso, apto para aplicación en conservas. En cuanto a las características de la materia prima, es necesario tener en cuenta que el factor influyente en la decisión de compra de un fruto en conserva es la presentación del producto, razón por la cual es importante que se controlen factores como la forma, el tamaño, la sanidad del fruto, el estado de madurez y la ausencia de daños mecánicos o microbiológicos en la epidermis. (ver figura 1)

Para conservas se prefirieron frutos de la variedad roja de forma cónica y alargada, con diámetros entre 3.0 y 3.5 cm. y con una longitud entre 4.5 y 5 cm, debido a su color atractivo, el tamaño facilitaba una mejor acomodación al interior del envase, fueron de fácil pelado y especialmente se presentó poca migración de grasa del fruto hacia el líquido de gobierno en las conservas de chontaduro este comportamiento se presenta porque las variedades rojas son más ricas en carotenos que en lípidos, mientras que en las amarillas ocurre el caso inverso. No se emplearon frutos con dimensiones superiores porque dificultaban la distribución al interior del envase. (figura 2)

Figura 1. Chontaduros en Conserva.

Fuente: Godoy S. Plantas Piloto de Alimentos Facultad de Ciencias Agropecuarias

Características del fruto para el ingreso a proceso, apto para la aplicación en mermeladas. Las características del chontaduro que ingresa al proceso de elaboración de mermelada no son tan exigentes como las que se requieren para la elaboración de conservas, por eso el fruto debe presentar ausencia de daños causados por insectos u hongos, lo que genera alteración en los atributos de calidad del producto final. Es indispensable la ausencia de espinas en el mesocarpio o pulpa. Aunque estas no alteran la calidad microbiológica de la mermelada, si dan un mal aspecto en la misma, pues en el momento de elaborar la pulpa estas pasan la etapa de filtración quedando pequeños puntos negros. Se aceptan leves daños mecánicos en la epidermis del fruto. por daño mecánico a causa del manipuleo durante el transporte, se aceptan sólo aquellos golpes o rasguños superficiales y muy pequeños que no representen una amenaza posterior durante el proceso.

Para evitar defectos de apariencia es importante que los frutos no presenten excesivo contenido graso. De las variedades trabajadas se identificó que las amarillas poseen mayor cantidad de grasa lo cual se ve reflejado por la presencia de pequeñas vetas de grasa en el producto, desmejorando su apariencia y haciéndolo susceptible de sufrir procesos de oxidación durante la etapa de almacenamiento. Por tanto las variedades rojas por poseer menores contenidos de grasa aportan mejores características al producto final en los aspectos antes mencionados. (figura 3)

Características del fruto para el ingreso a proceso, apto para aplicación en harinas. Debe considerarse que la materia prima destinada para la elaboración de harina de chontaduro es de segunda y tercera clase, en el proceso de selección deben retirarse los frutos que presenten sobre madurez o que estén infectados por hongos o fitopatologías, siendo por lo tanto menos exigentes los atributos de calidad para este proceso, admitiéndose daño mecánico, deformaciones y frutos de menor tamaño claro está cumpliendo los requerimientos fitosanitarios antes mencionados sobre ausencia de larvas, hongos y podredumbres.

El grado de madurez de los frutos influye en las características fisicoquímicas y sensoriales del pro-

Figura 2. Presentación mermelada de chontaduros.

Fuente: Godoy S. Plantas Piloto de Alimentos Facultad de Ciencias Agropecuarias

ducto final, los frutos después de su estado óptimo de madurez inician el proceso de degradación conocido como senescencia, que favorece el desarrollo de microor-ganismos, los cuales invaden los frutos entrando por las heridas causadas por maltratos o perforaciones de insectos. Mientras que los frutos no maduros (pintonas) no han desarrollado completamente su color, aromas y sabores característicos, afectando las características organolépticas del producto final.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN VISUAL AUTOMÁTICO

La implementación del sistema requirió que se conocieran previamente algunos aspectos técnicos preliminares, como el reconocimiento de las características del fruto en su etapa de poscosecha, tiempo de vida útil, y requerimientos relacionados con parámetros de color, tamaño y forma, de acuerdo con la aplicación final del chontaduro los cuales están relacionados con sus características fisicoquímicas. Una vez determinados los principales parámetros de calidad y poscosecha se establecieron los criterios para el diseño del sistema de iluminación sobre los frutos, y se diseñaron las estrategias de arquitectura de adquisición de escenarios SIVA, la elaboración de algoritmos de detección y la representación virtual de color, defectos, presencia de cáliz, junto con la selección de las mejores características para clasificar por tamaño y forma, y por último la implementación de actuadores, que son los que finalmente depositan el fruto (clasificándolo) en el espacio asignado dependiendo de su estado y/o condición. Como marco del desarrollo experimental del proyecto, así como de la aplicación industrial, se ha implementado un SIVA a modo de prototipo, que es capaz de clasificar un fruto según su aplicación en las distintas categorías.

PROCEDIMIENTO

Herramientas empleadas

Los sistemas de clasificación basados en visión artificial intentan imitar las decisiones humanas en la determinación de la calidad. Aunque se acercan cada vez más, sobre todo en la evaluación de tamaño, forma y color, todavía queda por hacer con respecto a la evaluación de los defectos externos. El uso de esta técnica en los procesos de clasificación de frutos, no solo permite un ahorro de tiempo considerable, sino también una mayor consistencia en la medición, lo que implica una calidad más homogénea en el lote procesado [5].

Las imágenes se obtuvieron con una cámara JVC profesional TK_C1380U de arquitectura Interline Transfer y un objetivo Cosmicar/Pentax 12 mm; se adquirieron imágenes a color de los frutos en movimiento.

Figura 3. Presentación de harina de chontaduro.

Fuente: Godoy S. Plantas Piloto de Alimentos Facultad de Ciencias Agropecuarias

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Vol 5 No. 2 Agosto 2007

Los diferentes algoritmos tanto, de segmentación por combinación de histogramas como de clasificación por K_ medias, se implementaron haciendo uso del sistema de programación interactivo y cuantitativo QWIN/QUIPS; herramienta software disponible en la estación de trabajo LEICA Q550IW, paquete computacional para procesamiento y análisis avanzados de imágenes [5].

La adquisición de imágenes y las técnicas de segmentación empleadas para diferenciar e identificar ciertas partes de un objeto también hacen parte importante en las aplicaciones de visión, utilizándose metodología y cámaras diferentes dependiendo de las características de cada aplicación. Mientras el uso de imágenes monocromas es suficiente para la determinación de tamaño, forma y textura, para la detección de coloraciones y manchas es imprescindible incluir cámaras en color o combinaciones de cámaras sensibles a diferentes longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo. Las cámaras en color de 3 CCDs se emplean en aplicaciones donde el color es determinante de la calidad, para apreciar ciertos defectos internos que son imposibles de detectar con otros métodos se emplean cámaras específicas multiespectrales para detección de defectos [4].

La medida del color del fruto comenzó a realizarse con imágenes monocromas, luego se emplearon imágenes en color para la inspección de frutas y hortalizas.

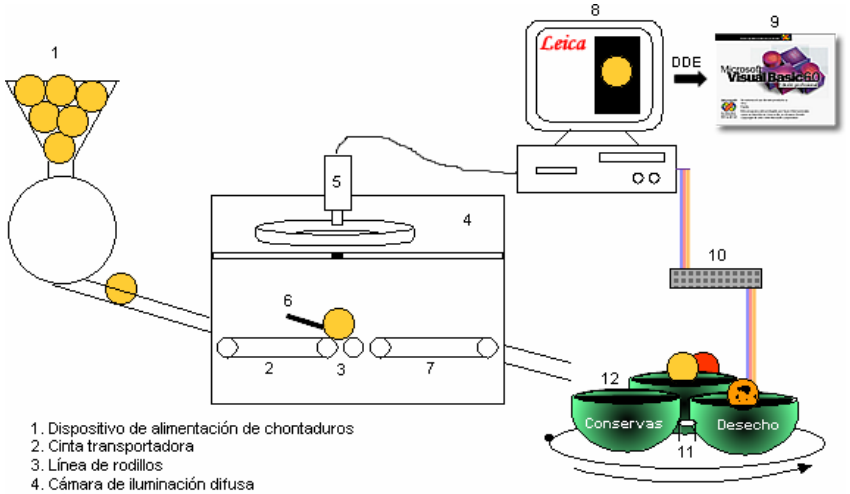
Las tres coordenadas de color normalizadas RGB (red, green, blue) han sido utilizadas para clasificar según su color, utilizando técnicas de cuantificación como: El algoritmo K-Means, que utiliza centroides de cada grupo como sus puntos representantes que se encuentran mediante el promedio de los objetos pertenecientes al conjunto y un nuevo objeto lo clasifica hallando la distancia mínima entre el vector de observación y los cetroides [6].

El clasificador bayesiano lineal, establece los criterios que permiten clasificar los pixeles de la imagen, obteniendo funciones discriminantes que, de manera automática, clasifiquen dichos pixeles en categorías. Las redes neuronales son vehículos para el desarrollo de los coeficientes de las funciones de decisión mediante la presentación sucesiva de conjuntos de patrones de entrenamiento [7].

Implementación del prototipo para clasificar chontaduros.

En la figura 4 se describe el Sistema de Inspección Visual Automático (SIVA) en calidad de prototipo, implementado para clasificar chontaduros con base en el color, presencia o ausencia de defectos, presencia o ausencia de cáliz, tamaño y forma, cada fruto se clasificó de acuerdo con la aplicación final.

Figura 4. Esquema simplificado del SIVA para la clasificación de chontaduros.



1. Dispositivo de alimentación de chontaduros
2. Cinta transportadora
3. Línea de rodillos
4. Cámara de iluminación difusa
5. Cámara CCD
6. Sistema electro-mecánico
7. Cinta transportadora
8. Estación de procesamiento de imágenes LEICA
9. Servidor Visual Basic
10. Interfaz RS232
11. Mecanismo de posicionamiento
12. Canastos de recepción de la fruta

El dispositivo de alimentación de chontaduros (1), ubica cada 5 segundos aproximadamente un fruto en la primera cinta (2), el chontaduro avanza hasta posicionarse sobre la línea de rodillos (3), lo que hace girar la fruta a su paso por el sistema de visión, el cual, está protegido del exterior por una caja cerrada -cámara de iluminación difusa (4). En esta sección mientras el chontaduro rota lentamente, la cámara CCD (5) adquiere un determinado número de imágenes dependiendo del tamaño; posteriormente un sistema electro-mecánico (6) desplaza el fruto hacia una segunda cinta transportadora (7); las imágenes son enviadas a la estación LEICA (8) donde se realiza el procesamiento pertinente de cada una de ellas, el algoritmo de clasificación envía un valor característico si el fruto se clasificó como conserva, mermelada, harina o desecho, a una nueva aplicación: Visual Basic (9) haciendo uso del Intercambio Dinámico de Datos (DDE) -las aplicaciones se comunican entre si estableciendo una comunicación cliente-servidor; en este programa se configura el envío de datos por puerto serial. La interfaz RS232 (10) acondiciona la señal para la alimentación respectiva del controlador -motor paso a paso unipolar-, aquel que dependiendo del numero de pasos configurado, hará girar una plataforma (11) en la que se encuentran los módulos receptores de los chontaduros. Una vez depositado el fruto en el espacio asignado (12), la plataforma vuelve a su estado inicial y espera una nueva señal para ejecutar la tarea de clasificación [6].

TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Sistema de iluminación: En el diseño de la cámara difusora se utilizó una lámpara fluorescente de 54 vatios compuesta por 2 iluminadores anulares o anillos de luz; este dispositivo está diseñado para iluminar circular y homogéneamente en la misma dirección en que captura la cámara. Los iluminadores anulares proporcionan una gran intensidad y su forma circular hace que la luz se extienda de forma uniforme en 360º, evitando cualquier tipo de sombras. La intensidad de luz proporcionada por la lámpara es suficiente para adquirir imágenes a un tiempo de obturación pequeño. Se acopló un difusor a la cámara de iluminación para eliminar reflejos y aumentar el efecto difusor.

Sistema mecánico: Se diseñó una banda giro-transportadora que permitió hacer rotar el fruto sobre un eje, para adquirir imágenes de toda la superficie del fruto, haciendo un barrido completo de cada chontaduro. La banda transportadora diseñada especialmente para rotar y evacuar cada fruto después de ser inspeccionado por el sistema de visión, permite que se obtengan imágenes libres de sombras, al tiempo que logra hacer rotar cada fruto en la mayoría de los casos sobre su eje. La primera cinta y los rodillos se mueven a igual velocidad; la segunda cinta se desplaza rápidamente con el objeto de impulsar y/o remolcar el fruto hacia la cinta donde se realiza la clasificación.

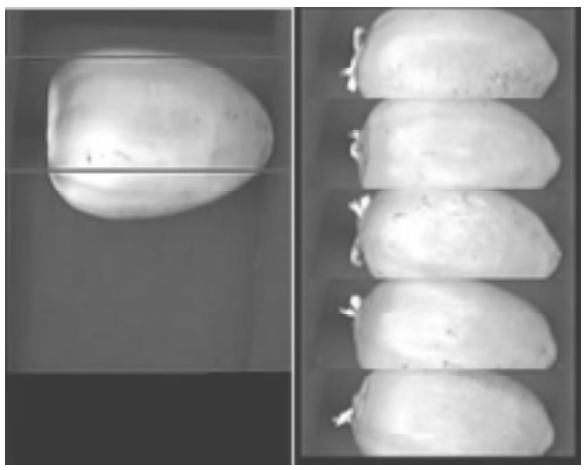
Bajo las condiciones de iluminación descritas y con la configuración diseñada para este trabajo, la cámara captura 5 imágenes de las tres bandas RGB, de la misma fruta girando y avanzando sobre la línea.

Procesamiento de imágenes: de cada fruto se obtienen cinco imágenes par analizar la superficie de la piel, debido a que gran porcentaje de la superficie se repite en las imágenes consecutivas, se seleccionó una franja del centro de cada imagen capturada y se concatenaron, formando una sola imagen como se muestra a continuación (figura 5).

El tamaño de las franjas se determinó por el ancho de la imagen digitalizada (400 píxeles) y calculando el alto a partir del número de franjas y la velocidad de rotación de la fruta. La figura 5(a) se emplea para determinar el tamaño y la forma del chontaduro y la figura 5(b) para establecer el color, porcentaje de defectos y presencia de cáliz.

Descripción del color: tras la segmentación en diferentes imágenes binarias se midió el porcentaje de píxeles

Figura 5. (a) Imagen adquirida y (b) imagen preprocesada.



de la región detectada (porcentajes de áreas amarilla, roja, naranja y verde. correspondientes a cada uno de los tonos como característica para determinar el color predominante del fruto (Figura 6).

Método de clasificación: La clasificación de la fruta por color, presencia de defectos, tamaño, forma y presencia de cáliz se hizo mediante el clasificador de mínima distancia K-Medias, utilizando los parámetros anteriormente mencionados. Los valores de las funciones de decisión se generaron mediante un software estadístico, a partir de los descriptores de 270 chontaduros

Descripción de defectos: Una vez segmentados los defectos se midió e el área y se comparó con los rangos mínimos y máximos de defectos previamente establecidos (figura 7).

Descripción de tamaño y forma: La segmentación se hace sobre una de las cinco imágenes adquiridas. Sobre ella se mide el área para determinar el tamaño del fruto (figura 8a) y los diámetros mayor y menor para describir la forma (figura 8b).

EVALUACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

La fiabilidad global del sistema se realiza con el fin de mostrar datos reales acerca del funcionamiento del prototipo, y garantizar así, la implementación de un sistema a nivel industrial de ésta novedosa técnica que facilita las operaciones de poscosecha en le sector agroindustrial.

En la tabla 3. se presentan los resultados de la evaluación final del sistema con la matriz de confusión que se muestra

Los resultados obtenidos muestran que la coincidencia es superior al 93 % en todas las aplicaciones, llegándose al 100% en conservas, lo que es considerado como excelente resultado ya que la importancia de éstas radica en la aceptación de frutos totalmente sanos, que podrían considerarse tipo exportación por el buen control de calidad aplicado en ellos. El porcentaje de fiabilidad total del sistema es del 96%.

Para la gran mayoría de frutos se contempla hasta un 10% de tolerancia en cada clasificación para su respectiva aplicación y, como los resultados aquí expuestos cumplen con ésta tolerancias, se consideran aceptables. El proyecto se acoge a ésta norma en los procesos de postcosecha, debido a que no se han estandarizado normas de calidad para el chontaduro.

Figura 6A. Segmentación del fruto amarillo

Figura 6B. Segmentación del fruto verde

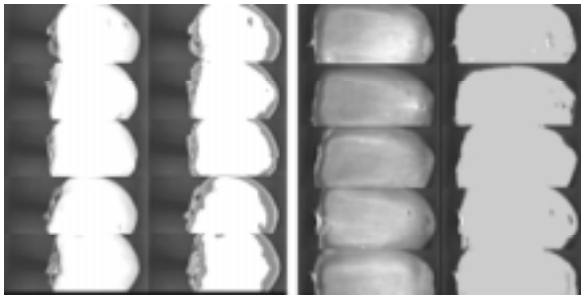


Figura 6C. segmentación del fruto rojo

Figura 6D. segmentación fruto naranja

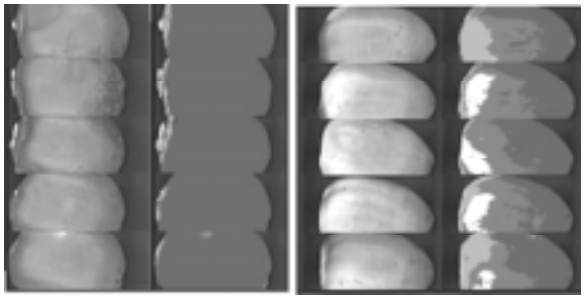


Figura 7. Descripción de defectos

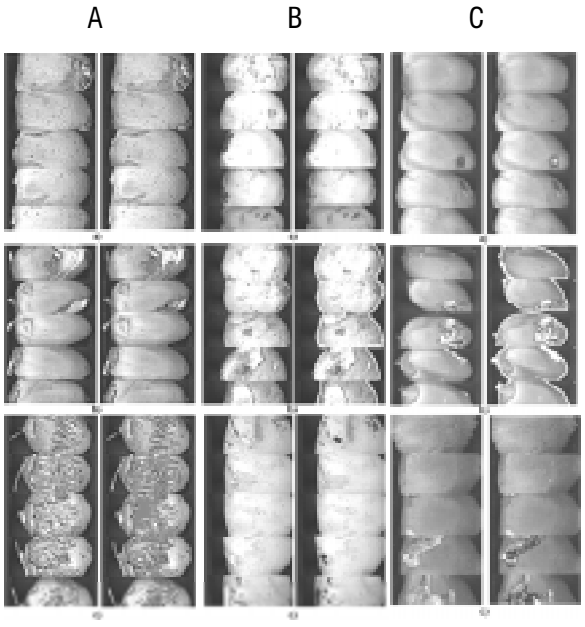
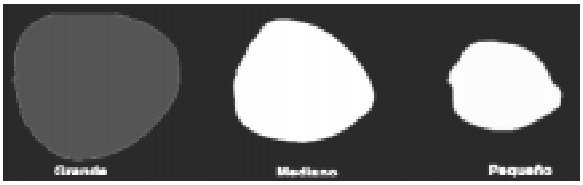


Figura 8 (a) Segmentación por tamaño y **(b).** Segmentación por forma.



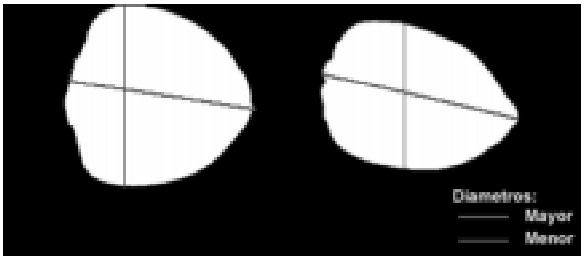


Tabla 3. Evaluación de la clasificación final del sistema c: conservas, m: mermeladas, h: harinas y d: desecho

	Clasificacion según experto	Clasificacion según el sistema de visión artificial				Coincidencia %
		C	M	H	D	
C	16	16				100
M	29	1	27		1	93
H	89	1		85	3	95
D	26				26	100

Tabla 4. Tiempo de ejecución empleados por el sistema.

APLICACIÓN	TIEMPO MÍNIMO (s)	TIEMPO MÁXIMO (s)
CONSERVAS	11	12
MERMELADAS	8	12
HARINAS	8	11
DESECHO	7	10

Los tiempos de ejecución empleados por el sistema para dar un resultado definitivo cuando ha inspeccionado un fruto (ver tabla 4), varían de mínimos a máximos; por ejemplo un fruto de desecho es detectado más rápido que un fruto cuya aplicación sea para conservas.

Como se puede notar, el tiempo que utiliza la estación de procesamiento de imágenes para inspeccionar, analizar y dar un resultado definitivo, no son los más apropiados para la clasificación en línea pero, actualmente existen muchas formas y métodos que permiten hacer una reducción bastante considerable del tiempo de procesamiento

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar sus agradecimientos por el soporte a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca y a la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca por la asesoría brindada.

CONCLUSIONES

Uno de los principales requerimientos de los sistemas automáticos de inspección de frutas es el funcionamiento en tiempo real, lo que no siempre se consigue por el elevado coste temporal de los algoritmos de análisis de imagen. Sin embargo, existen aplicaciones que, por la sencillez de las técnicas empleadas, por la utilización de un hardware específico o por la optimización de ciertas tareas, lo consiguen. Para transferir el prototipo desarrollado en este proyecto a nivel industrial, se deben ensamblar los algoritmos en procesadores de señales digitales (DSP) que realizaran las tareas empleando un tiempo de ejecución mínimo, en el orden de milisegeundos.

Para hacer de este sistema de clasificación de chontaduros, uno más completo, se recomienda hacer la detección de defectos correspondientes a magulladoras, usando la técnica de evaluación por texturas o adquirir imágenes en otras bandas espectrales como la de infrarrojo, en la que seguramente se encontrarán respuestas aptas para la solución de este problema. Estudios ya realizados revelan la factibilidad de éstas técnicas, la funcionalidad del sistema mecánico diseñado a modo de prototipo, ofrece muy buenos resultados cuando el chontaduro es uniforme puesto que, se alinean siempre sobre su eje polar, facilitando la rotación del fruto sobre el rodillo. Cuando la forma del chontaduro se ve alterada, quizá, por el crecimiento en el racimo, estos frutos no logran giran siempre sobre el mismo eje, lo que altera la variación de la medida.

REFERENCIAS

[1] CRC CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. El Chontaduro: Cartilla básica de extensión No.11. División de Asistencia Técnica Agropecuaria, Sección Fomento y Extensión, Colombia.

[2] REYES CUESTA, R., PEÑA ROJAS, E. A., y GOMEZ SOTO, J. El Cultivo de Chontaduro (Bactris Gasipaes K.) para Palmito. CORPOICA No 5. Colombia. 1997.
[3] RIOS, A; NEITHA J.C. y MOSQUERA R, Perspectivas para la Agroindustrialización del Chontaduro Bactris gassipaes en la zona de influencia del municipio de Quibdo, Choco, Colombia. 1997.
[4] GODOY, Sandra; FORERO, Clara; DIAZ, Doris; LUNA, Gabriela; MOTTA, Lorena. Proyecto: Fortalecimiento integral de la minicadena de la palma de chontaduro estandarización de productos con chontaduro. Popayán, 2004. 12 p.
[5] ALEIXOS, Nuria. Desarrollo de técnicas de visión artificial, utilizando procesadores digitales de señal. Aplicación a la detección de defectos en frutas en tiempo real. Valencia: Universidad Politécnica, España, 1999.
[6] RUIZ, Luis Angel. Aplicación de técnicas te análisis de imagen y espectrometría infrarroja para la detección de daños en cítricos en la posrecolección. Valencia: Universidad Politécnica, España, 1999.R. C. González, Tratamiento digital de imágenes,Wilmigton, Delaware, Addison-Wesley Iberoamericana, 1996, pp. 478-495.
[7] CASTLEMAN, K. R. Digital images processing. New Jersey: Prentice -Hall, 1996. 513-527 p.