

# PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE FRUTOS DE SEMERUCO (*Malpighia glabra* L.) DURANTE EL CRECIMIENTO Y MADURACIÓN

Carlos Alberto Padrón-Pereira<sup>1</sup>

**RESUMEN** - En estudios fitofenológicos y fenotípicos, para la medición del diámetro se suele emplear calibradores tipo vernier y en la observación de fenómenos de fructificación, binoculares. Con el avance continuo de la tecnología digital y el software, nuevas técnicas para la medición pueden ser implementadas. Los propósitos de este trabajo fueron establecer un procedimiento no destructivo para obtener y procesar imágenes de frutos de semeruco durante el crecimiento y la maduración, y determinar características de tamaño y color con miras a aportar información sobre esta especie que crece silvestre en Venezuela. Se empleó una cámara digital CCD y un computador de escritorio, calibrados. Se utilizaron los software CorelDRAW<sup>®</sup> X3 y Adobe<sup>®</sup> Photoshop<sup>®</sup> CS3 Extended y con el primero se creó una regla graduada virtual. El procedimiento empleado permitió determinar características de tamaño. Los frutos evaluados presentaron crecimiento sigmoideal con diferencias entre los tiempos de crecimiento hasta la abscisión y los diámetros ecuatoriales alcanzados. Cambios de coloración de verde+anaranjado a rojo ocurrieron entre 42 y 54 h después de empezar las mediciones. No hubo correlación entre el color de estados de maduración y el diámetro ecuatorial ( $R^2 = 0,06$ ).

**PALABRAS CLAVES:** cámara digital, características fenotípicas, diámetro ecuatorial, maduración de frutos, tamaño.

## DIGITAL IMAGES PROCESSING OF ACEROLA (*Malpighia glabra* L.) FRUITS DURING THE GROWTH AND MATURATION

**ABSTRACT** - In phytophenologic and phenotypic studies, for the measurement of the diameter vernier calipers are usually used and in the fruiting phenomena observation, binoculars. With the constant digital technology advance and the software new techniques for measurement can be implemented. The purposes of this work were to establish a non-destructive procedure, to obtain and to process images of acerola fruits during the growth and ripening on the tree, and to determine characteristics of size and color to contributing information on this species that grows wild in Venezuela. A CCD digital camera and a desktop computer, calibrated, were used.

---

<sup>1</sup> Asociación RVCTA. Avenida Andrés Bello N° 101-79, Municipio Valencia, Estado Carabobo. Código Postal 2001. República Bolivariana de Venezuela. (carlospadron1@gmail.com).

CorelDRAW® X3 and Adobe® Photoshop® CS3 Extend, were utilized and with the first one a virtual graduated rule was created. The employed procedure allowed determining characteristics of size. The evaluated fruits presented sigmoidal growth with differences between the times of growth until the abscission and the equatorial diameters reached. Color changes of green+orange to red occurred between 42 and 54 h. There was no correlation between the ripening states color and the equatorial diameter ( $R^2 = 0.06$ ).

**KEYWORDS:** digital camera, equatorial diameter, fruit ripening, phenotypic characteristics, size.

## 1. INTRODUCCIÓN

El semeruco (*Malpighia glabra* L.) es un árbol cuyos frutos son considerados como una de las más ricas fuentes de vitamina C (ANTUNES et al., 2006; ALVES et al., 1992), además de contener fitoquímicos, tales como, carotenoides y polifenoles (MEZADRI et al., 2008). Durante las etapas de maduración de estos frutos ocurren marcados cambios en la composición química, especialmente en los contenidos de ácidos orgánicos y sólidos solubles (GUADARRAMA, 1983; YAMASHITA et al., 2006). Es un fruto climatérico que pasa por una serie de alteraciones durante la maduración y senescencia, destacando la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides y antocianinas, las cuales pueden acontecer cuando el fruto se encuentra en la planta o después de la cosecha, pudiendo ser recolectados al inicio de la maduración (color verde o verde amarillento) o al inicio de la pigmentación rojiza (LIMA de ARAÚJO et al., 2009).

El semeruco se caracteriza por un crecimiento rápido y desordenado, además de un proceso acelerado de deterioro de los frutos luego de la cosecha (MACIEL et al., 2008). Por la alta perecibilidad de los frutos, diversos estudios se han llevado a cabo empleando el uso de tecnologías de

refrigeración, empaques y atmósferas controladas con el propósito de preservar la calidad durante el almacenamiento (ANTUNES et al., 2006; LIMA de ARAÚJO et al., 2009; YAMASHITA et al., 2006). En Brasil el mayor productor, consumidor y exportador en el mundo, las pérdidas post cosecha se estiman en 40 % (SILVA de FREITAS et al., 2006). En Venezuela, el semeruco crece silvestre (LASKOWSKI e BAUTISTA, 1998) y se adapta a zonas secas y cálidas mostrando gran eficiencia en el uso del agua (LASKOWSKI, 2000), sin embargo no es comercializado en el país por existir pocos trabajos desarrollados con miras a la selección de materiales con fines agronómicos, por lo que reviste interés el desarrollo de nuevas investigaciones que permitan un mejor entendimiento del comportamiento de esta especie.

En estudios fitofenológicos, la elaboración de curvas de crecimiento permite conocer el modo en que crecen los frutos con respecto al tiempo. Las curvas de crecimiento del diámetro ecuatorial en función del tiempo son las más empleadas (AVANZA et al., 2004). Para la medición del diámetro se suele emplear calibradores tipo vernier analógicos o digitales (CAÑIZARES et al., 2003; MARTÍNEZ et al., 2003; PÉREZ de CAMACARO; JIMÉNEZ, 2009) y para la observación de

los fenómenos de fructificación (frutos verdes y maduros), floración (botón floral y flor abierta), brotación foliar y caída del follaje se suelen utilizar binoculares (OCHOA-GANOVA et al., 2008; PEREA-CÓRDOBA et al., 2003; PINO-BENÍTEZ; MOSQUERA-MOSQUERA, 2004), que son procedimientos no destructivos.

Con el continuo avance de la tecnología digital y el software, nuevas técnicas de medición de características fenotípicas han sido utilizadas. Darrigues et al. (2008) desarrollaron un software que utiliza un escáner, y el previo escaneo de frutos cortados permite la recolección de datos de tamaño, forma y color. Un sistema de visión computarizada empleando una cámara digital y algoritmos escritos en el software MATLAB<sup>®</sup> 6.5, para cuantificar los cambios de coloración y desarrollo de manchas oscuras en bananas durante las etapas de maduración fue implementado por Mendoza y Aguilera (2004).

Por lo expuesto, los propósitos de este trabajo fueron implementar un procedimiento no destructivo, para obtener y procesar imágenes de frutos de semeruco durante el crecimiento y la maduración, y determinar características fenotípicas de tamaño y color.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Software

Los software empleados fueron CorelDRAW<sup>®</sup> X3 (Corel Corporation, Ottawa, Ontario, Canada) y Adobe<sup>®</sup> Photoshop<sup>®</sup> CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, San José, California, USA).

CorelDRAW<sup>®</sup> X3 es un software de diseño gráfico cuya característica principal es que permite la edición de gráficos en vectores y no en píxeles. Adobe<sup>®</sup> Photoshop<sup>®</sup> CS3 Extended es un software utilizado para la edición y retoque de imágenes.

### 2.2. Computadora y calibración

Se utilizó una computadora de escritorio (Desktop), provista de un procesador Intel<sup>®</sup> Core<sup>™</sup> 2 Duo de 2,80 GHz con tarjeta madre ASRock<sup>®</sup> G31M-S y gráfica NVIDIA<sup>®</sup> GeForce<sup>®</sup> 7200 GS, monitor Lenovo<sup>®</sup>/IBM<sup>®</sup> CRT de 17 pulgadas con resolución de pantalla de 800 x 600 píxeles, memoria RAM de 4 GB y sistema operativo Microsoft<sup>®</sup> Windows Vista<sup>®</sup>, Home Basic.

Para la calibración del monitor, se tomó en cuenta que la luz ambiental fuese inferior a la de intensidad del monitor y sin incidencia directa sobre el mismo. Asimismo, con el software Photoshop<sup>®</sup> CS3 Extended, se creó un archivo nuevo (formato JPEG) de 10x10 píxeles con resolución de 72 píxeles/pulgada, color con coordenadas R=128, G=128 y B=128 (gris) que se estableció como fondo de escritorio con posición en mosaico para evitar influencia de otros colores durante la calibración. El monitor fue calibrado paso por paso utilizando el software Adobe<sup>®</sup> Gamma, definiendo punto blanco del hardware en 6500 °K.

### 2.3. Cámara digital y calibración

Para la captación de imágenes se utilizó una cámara digital marca Panasonic (LUMIX), modelo DMC-FS42. La misma

posee un sensor CCD de tamaño 1/2,5 pulgadas, aporta tamaños de imágenes de hasta 10,1 megapíxeles efectivos y dispone de enfoques en modo normal (50,0 cm -  $\infty$ ) y macro (5,0 cm – 50,0 cm).

La cámara se colocó en modo de imagen normal, flash desactivado, enfoque en modo normal y tamaño de imagen 5,0 megapíxeles. Para el ajuste manual de balance de blancos, se calibró mediante hoja de papel bond blanco (Xerox, 150 g/m<sup>2</sup>) en un escenario iluminado con un reflector parabólico de aluminio de diámetro 38 octavos de pulgada (PAR38), marca General Electric, 120V, 60Hz, 20w y temperatura de color T<sub>C</sub> = 6500 °K (D<sub>65</sub>). El reflector se hizo incidir sobre la hoja a distancia de 10 cm y la cámara a distancia de 50 cm. La geometría de las direcciones de iluminación/observación fue de 45°/0°.

Para la sensibilidad ISO, se tomaron fotografías de 2,0 megapíxeles, por triplicado, en el escenario a una distancia de 50 cm a muestras patrones de color de la guía de colores PANTONE® solid matte (Cyan, Magenta, Yellow y Black - Pantone Process M). Se varió la sensibilidad ISO a 80, 100, 200, 400, 800 y 1000. Se observaron en el visor de imágenes de Windows®. La sensibilidad a la luz no ofreció gran variación y se seleccionó el valor ISO 80 por presentar menor ruido en las imágenes.

Para determinar el mejor valor de exposición (EV), se tomaron fotografías, por triplicado, a las mismas muestras patrones, en las mismas condiciones señaladas con antelación; variando los valores de exposición a -1; -2/3; -1/3; 0 +1/3; +2/3 y +1. En Photoshop® CS3 Extended, se les ajustaron los niveles de entrada y salida, se recortó cada imagen de color patrón de manera

independiente, se promediaron los píxeles, se tomaron muestras del color que reflejaron las coordenadas RGB en la paleta de colores del software y se seleccionó el EV = +2/3 por presentar las imágenes, las coordenadas RGB mas similares a los valores RGB de los estándares Cyan, Magenta y Yellow (Pantone Process M) de la biblioteca PANTONE® solid matte, incluida en el software Photoshop® CS3 Extended.

#### **2.4. Regla graduada virtual (RVG)**

Se creó una regla virtual de 30 mm de longitud x 0,5 mm de ancho con divisiones de 0,25 mm de la siguiente manera:

En archivo nuevo creado en CorelDRAW® X3 se estableció en la barra de propiedades, unidades en milímetros. Con la herramienta rectángulo se creó uno, con color de relleno amarillo, estableciendo en la barra de propiedades el tamaño de objeto. En propiedades del objeto, se eliminó el contorno. El origen de las reglas horizontal y vertical del programa se colocó en el nodo izquierdo-arriba del rectángulo. Seguidamente se fueron arrastrando líneas guías verticales a partir de la regla vertical cada 0,25 mm a lo largo del rectángulo tomando como referencia para la ubicación las divisiones de la regla horizontal. Con la herramienta bésier (para las divisiones de la regla) se creó una línea vertical de color negro de longitud 0,15 mm y anchura del contorno 0,03 mm. La línea bésier se duplicó las veces necesarias (menú edición), se colocó una en cada línea guía y se alinearon por arriba con el rectángulo. Con la herramienta texto se crearon los números (tamaño 0,329 pt) que fueron colocados en

las divisiones y finalmente se agruparon todos los elementos (menú organizar). Cuando hubo necesidad, se crearon subdivisiones de 0,05 mm.

La RGV se utilizó para medir el tamaño de los frutos en imágenes captadas durante la evolución del crecimiento; asimismo se imprimió en papel bond blanco (75 g/m<sup>2</sup>) y se utilizó para medir frutos seleccionados para el estudio, en el árbol, con la ayuda de una lupa de aumento 4X.

### 2.5. Selección de los frutos

En un árbol de semeruco (*Malpighia glabra* L.) de altura 5,40 m (en competencia interespecífica por la luz); en época de precipitaciones durante el mes de mayo de 2010, en su ambiente natural, localizado en las coordenadas 10° 10' 58" latitud norte, 68° 0' 38" longitud oeste, en el Sector La Pastora, Ciudad de Valencia del Estado Carabobo, Venezuela, se seleccionaron 3 frutos de la parte superior de la copa. Los criterios de selección fueron: todos de color verde homogéneo (inmaduros), sin rastro aparente de daños físicos, 2 pequeños de igual de tamaño (S2 y S3) y 1 grande (S1). Se midió el diámetro ecuatorial con la RGV. S2 y S3 de diámetro 9,0 mm y S1 de diámetro 16,50 mm. Cada fruto debió tener en la cercanía un tallo de una rama para que sirviera como referencia fija de medida (RFM) en el tiempo. Quedó establecido como RFM; 2,25 mm para S1; 9,25 mm para S2 y 11,75 mm para S3.

### 2.6. Comprobación de medidas y mediciones en el tiempo

Se tomaron fotografías (zoom 5,7X) a los 3 frutos desde un punto fijo de observación quedando las distancias definidas para la captación de imágenes a 96 cm de S1; 148 cm de S2 y 220 cm de S3. Las imágenes presentaron tamaño de 4,9152 megapíxeles (2560 x 1920 píxeles) y resolución 180 ppp. En Photoshop® CS3 Extended se recortaron en la zona de interés y se importaron a CorelDRAW® X3. Utilizando los nodos de las esquinas de cada imagen, se agrandó o redujo de tamaño hasta que la medida con la RGV del diámetro del tallo utilizado como RFM fuese igual a la medida realizada en el árbol. Se midió el diámetro ecuatorial de cada fruto, comprobándose que fue la misma medida realizada en el árbol.

A las 3 muestras se tomaron fotografías tres veces al día (por triplicado) durante toda la etapa de crecimiento y cambio de coloración, hasta la caída de los frutos. Las curvas de crecimiento de S2 y S3 se construyeron siguiendo las variaciones del diámetro ecuatorial en función del tiempo.

### 2.7. Determinación del color de los frutos y su relación con el tamaño

El color de los frutos en coordenadas CIE-L\*a\*b\* no puede determinarse en imágenes de campo debido a las variaciones de iluminación, por efecto de las condiciones de la luz del sol y el sombreado de las ramas (RECCE et al., 1996) y en este sentido, se recolectaron frutos al azar de diversos tamaños y colores

(25 en total), en la parte superior de la copa del mismo árbol. Inmediatamente, se colocaron bajo el escenario iluminado sobre un escalímetro triangular blanco en escala 1:100; que sirvió como RFM para las mediciones con la RGV del diámetro ecuatorial. El reflector se hizo incidir sobre las muestras a distancia de 13 cm y la cámara a 20 cm (geometría de las direcciones de iluminación/observación = 45°/0°).

El color se determinó siguiendo el procedimiento empleado por Padrón-Pereira (2009) que permite la obtención de imágenes segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L\*a\*b\*, utilizando el software Photoshop® CS3 Extended, donde L\* es la luminosidad (0 = negro y 100 = blanco), siendo a\* y b\* las coordenadas cromáticas rectangulares (+a = rojo y -a = verde / +b = amarillo y -b = azul). Como región de discriminación se consideró la brillantez por efecto del reflector, la cual fue excluida mediante técnica de segmentación. Las fotografías se tomaron en ambas caras de cada fruto por triplicado y las coordenadas fueron promediadas.

Se utilizó la relación a\*/b\* de los 25 frutos como variable dependiente para establecer posible correlación con el diámetro ecuatorial y a partir de las coordenadas rectangulares a\* y b\*, se calcularon las coordenadas polares croma o pureza (C\*<sub>ab</sub>) y tono o matiz (h°<sub>ab</sub>), empleando las ecuaciones 1, 2 y 3.

Ecuación 1. Tono (h°) = arctan(b\* / a\*) para a y b positivos

Ecuación 2. Tono (h°) = 180 + arctan(b\* / a\*) para a negativo y b positivo

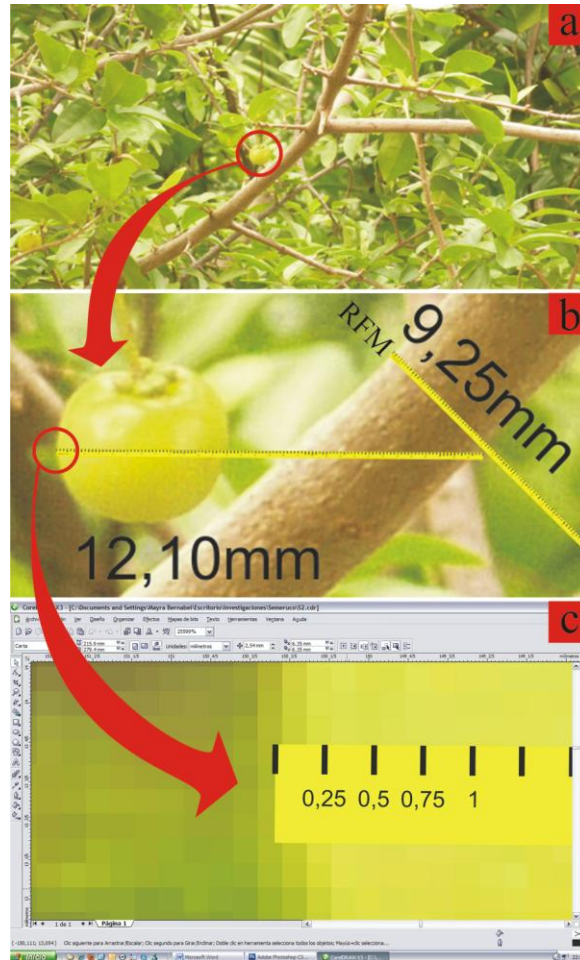
Ecuación 3. Croma (C\*) = (a\*<sup>2</sup> + b\*<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>

## 2.8. Análisis estadísticos

Los análisis de regresión lineal simple y correlación de las variables fueron calculados mediante el software Statistix for Windows, versión 9.0 (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA). Las curvas de crecimiento de los frutos en el árbol y la recta de regresión lineal se construyeron con el software Microsoft® Office Excel, versión 2003 (Microsoft® Corporation, Redmond, WA, USA). Los montajes de cubos y paralelepípedos en la Figura 3 y Tabla 1, se realizaron con CorelDRAW® X3 y Adobe® Photoshop® CS3 Extended.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 ilustra la manera como es factible la medición del diámetro ecuatorial de los frutos mediante el software CorelDRAW® X3. Se presenta una imagen detalle captada sin zoom donde se aprecia al fruto en estudio, entre el follaje del semeruco (Figura 1a), otra captada con zoom (5,7X) donde se observa la medición con la RGV, del tallo utilizado como RFM y del diámetro ecuatorial del fruto (Figura 1b) y una imagen con zoom, aumentada en el software al 25599 %, con la ubicación de la RGV en el borde del fruto (Figura 1c).



RFM: referencia fija de medida. a: imagen captada sin zoom. b: imagen captada con zoom 5,7X. c.: imagen (zoom 5,7X) aumentada en el software al 25599 %.

**Figura 1.** Imágenes de la medición del diámetro ecuatorial en fruto de semeruco.

### 3.1. Crecimiento de los frutos y evolución del color en el árbol

En la Figura 2 se presenta la evolución del crecimiento de los frutos S2 y

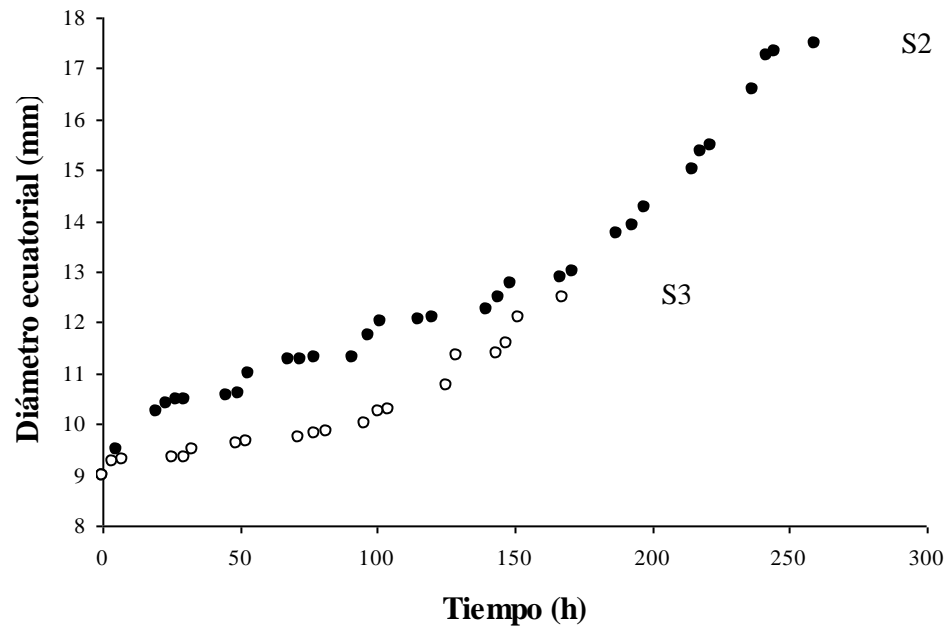
S3. Ambos mostraron un crecimiento sigmoideal; un periodo de crecimiento lento durante las primeras horas y luego un incremento sostenido y creciente hasta alcanzar un diámetro de 17,5 mm a las 259,5

h para S2 y de 12,5 mm a las 167,5 h para S3. El tiempo de crecimiento de ambos frutos hasta la abscisión fue variable, observándose en S3 menor tiempo y diámetro alcanzado. El crecimiento de un fruto a lo largo del tiempo varía según la especie y las condiciones de la zona de cultivo (RAFFO et al., 2007) pero cabe destacar que al inicio del estudio, los frutos presentando igual diámetro ecuatorial (9,0 mm) y color (verde) se comportaron de manera distinta, a pesar de pertenecer al mismo árbol. En algunas especies (*Malpighia puniceifolia* L.) los frutos alcanzan su máximo desarrollo en un tiempo no mayor de 25 días (SALAMANCA-G et al., 1999). S2 y S3 alcanzaron su máximo desarrollo en 10,8 y 7 días, respectivamente, aunque no se tomó en cuenta el tiempo desde el inicio de la fructificación hasta alcanzar un diámetro ecuatorial de 9,0 mm. Silva de Freitas et al. (2006) señalan que el diámetro de los frutos puede variar de 1,0 a 4,0 cm en diversas especies; mientras que Laskowski y Bautista (1998) en 30 frutos seleccionados de la especie *Malpighia emarginata* DC, determinaron diámetros ecuatoriales de 1,0 a 1,8 cm. S2 y S3 alcanzaron diámetros de 1,75 y 1,25 cm, respectivamente y otro fruto evaluado (S1), al caer presentó un diámetro ecuatorial de 1,74 cm. Los resultados obtenidos evidencian la factibilidad del procedimiento

empleado, para la realización de mediciones de longitud en frutos de semeruco y se presenta como aplicación práctica para la medición de frutos de otras especies durante su evolución en el árbol.

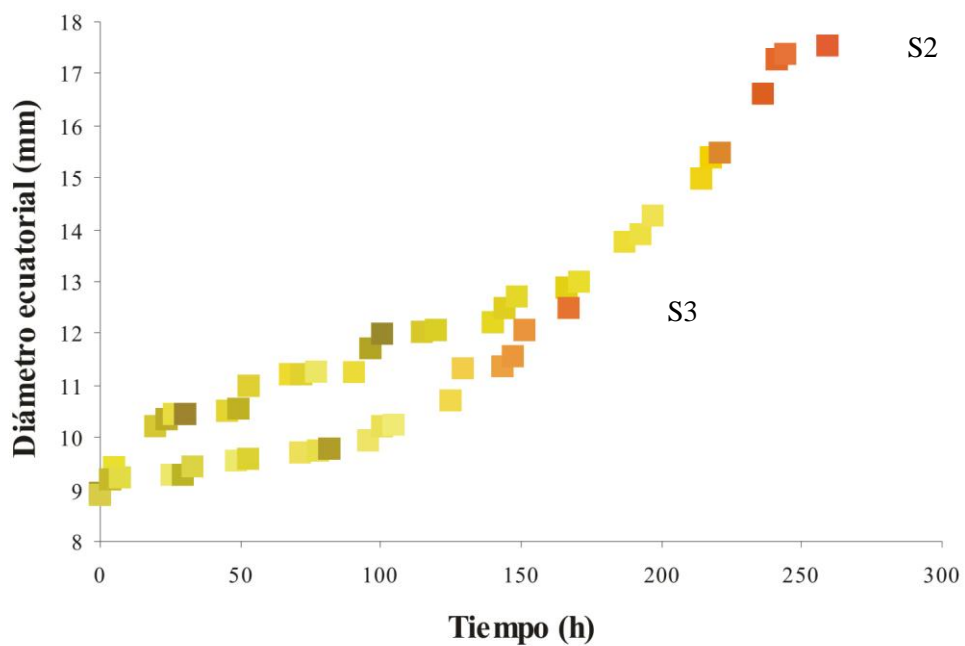
Los cambios de coloración se llevaron a cabo, acorde a la evolución típica de estos frutos, tal como lo describe Guadarrama (1983) y se aprecia en la Figura 3. En ambos frutos, primeramente, un estado de madurez verde con color de exocarpio verde, luego una etapa de maduración caracterizada por una marcada disminución del contenido de clorofila y aumento del contenido de carotenoides que conllevó a un estado de madurez denominado pintón con color de piel o epidermis verde+anaranjado y finalmente un estado de madurez denominado por el autor, maduro, con color de exocarpio rojo. A pesar de las marcadas diferencias observadas, en S2 y S3 el cambio de coloración de verde+anaranjado a rojo ocurrió en 42 y 42,5 h, con aumento de diámetro de 2,15 mm y 1,75 mm, respectivamente y en S1 (Figura 4) 54 h con un aumento del diámetro ecuatorial de 0,9 mm. El fruto de semeruco presenta acelerada actividad metabólica y su maduración ocurre rápidamente (de ASSIS et al., 2008; MEZADRI et al., 2006).





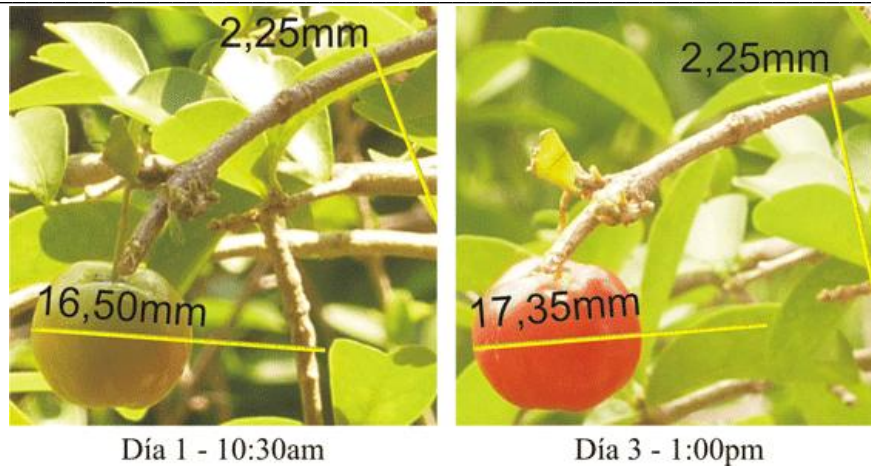
Los valores de diámetro ecuatorial son promedios de tres repeticiones. S2 y S3 son frutos de semeruco con diámetro ecuatorial inicial de 9,0 mm.

**Figura 2.** Evolución del crecimiento de frutos de semeruco en el árbol.



Los distintos colores de los puntos de coordenadas en las curvas son el promedio de los píxeles en zona paraxial de las imágenes de campo de los frutos y presentan variaciones en la luminosidad por efecto de las condiciones de la luz solar. S2 y S3 son frutos de semeruco con diámetro ecuatorial inicial de 9,0 mm.

**Figura 3.** Evolución del crecimiento y color de frutos de semeruco en el árbol.



S1 es un fruto de semeruco evaluado a partir de diámetro ecuatorial de 16,50 mm. La abscisión de S1 ocurrió el día 3  $\approx$  4:30 pm (diámetro final: 17,40 mm).

**Figura 4.** Cambio de coloración y aumento del diámetro ecuatorial del fruto de semeruco S1.

### 3.2. Color de los frutos y su relación con el tamaño

En la Tabla 1 se presentan las coordenadas en el espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$  de los 25 frutos de semeruco y el color promedio en imágenes ordenados acorde a la relación  $a^*/b^*$ . Las relaciones  $a^*/b^*$  que presentan valores negativos designan presencia del color verde (coordenada  $a^*$ ); el menor valor determinado fue de -0,36. La tendencia hacia valores positivos implica disminución de tal color e incremento de los colores amarillo (coordenada  $b^*$ ) y rojo (coordenada  $a^*$ ) propios de la maduración progresiva de los frutos, siendo el mayor valor determinado de 1,90.

Los cambios de coloración durante la maduración de los frutos de semeruco

resultan en cambios de los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , siendo el más importante el de la coordenada  $a^*$  que se relaciona con la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides y antocianinas. El tono, índice de color, diferencia de color y la relación  $a^*/b^*$ , entre otros, pueden ser utilizados objetivamente para dar una estimación real de la percepción (LÓPEZ-CAMELO; GÓMEZ, 2004).














En un estudio realizado por Lima de Araújo et al. (2009) en frutos de 6 clones de semeruco: II 47/1, Apodi, Roxinha, Sertaneja, Frutacor y Cereja, recubiertos con película de PVC y almacenados bajo refrigeración (10 °C) el primer día de recolectados y embalados, los ángulos de tono ( $h^\circ$ ) determinados fueron de 37, 41, 43, 46, 51 y 72°, respectivamente, y se corresponden con los mostrados en la Tabla

1 para las muestras 24 a la 14 (35,84 – 71,57°). En el espacio cromático cilíndrico L\*C\*h°, valores de ángulo de tono de 0° a 90° indican una tendencia que va del color rojo paulatinamente cambiando por combinación con el amarillo hasta definirse este último. En relación al croma (C\*), los valores pueden variar de 0 (no saturado; acromático) a 100 (saturado de un color). Los resultados de los autores, en relación al croma, fueron 38, 39, 44, 45, 31 y 42, respectivamente, mientras que los obtenidos en esta investigación oscilan de 45,18 a 80,61; por lo que los colores de los 25 frutos evaluados fueron mas saturados, mas vivos o intensos, es decir, presentaron mayor pureza de color.

En el análisis de regresión y correlación entre el color de los frutos y el tamaño, el coeficiente de determinación ( $R^2$ )

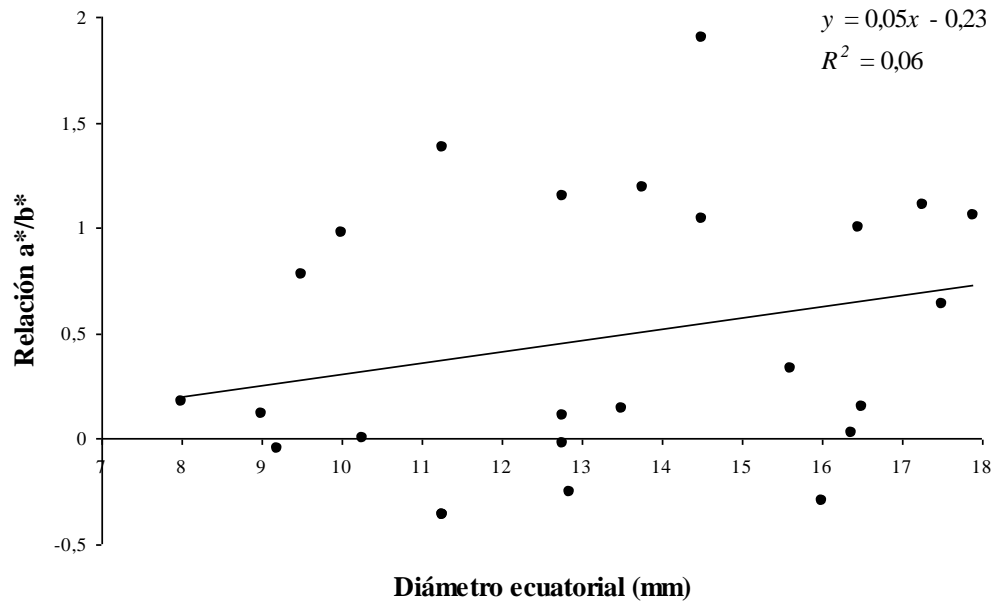
fue de 0,06 (Figura 5); lo que indicó que solo el 6,0 % de la variabilidad en el color (relación a\*/b\*) se explica por el diámetro ecuatorial, por lo que ambas variables no están correlacionadas y no presentan un modelo lineal, es decir, frutos de determinado diámetro pueden presentar diversos colores de estados de maduración. Laskowski y Bautista (1998) asociando las variables diámetro ecuatorial e índice de madurez (relación °Brix/acidez) en un estudio de frutos de semeruco, determinaron un coeficiente de 0,002; lo que indicó que no hubo correlación, es decir, del resultado obtenido en ese estudio se deriva que frutos de un diámetro establecido pueden presentar distintos índices de madurez. A este respecto, Maciel et al. (2008) señalan que el semeruco se caracteriza por un crecimiento desordenado.

**Tabla 1.** Parámetros de color en el exocarpio y tamaño de los frutos.

Muestra	Coordenadas rectangulares			Color promedio	Relación a*/b*	Croma <sub>ab</sub>	Tono <sub>ab</sub> (°)	Diámetro ecuatorial (mm)
	L*	a*	b*					
1	54	-20	55		-0,36	58,52	109,98	11,25
2	53	-20	55		-0,36	58,52	109,98	11,25
3	64	-19	65		-0,29	67,72	106,29	16,00
4	65	-16	65		-0,25	66,94	103,83	12,85
5	69	-3	61		-0,05	61,07	92,82	9,20
6	66	-1	63		-0,02	63,01	90,91	12,75
7	68	1	60		0,00	60,00	89,05	10,25
8	71	2	66		0,03	66,03	88,26	16,37
9	60	7	62		0,11	62,39	83,56	12,75
10	66	7	59		0,12	59,41	83,23	9,00
11	66	9	65		0,14	65,62	82,12	13,50
12	60	9	62		0,15	62,65	81,74	16,50
13	55	9	50		0,18	50,80	79,80	8,00

## PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE FRUTOS DE SEMERUCO

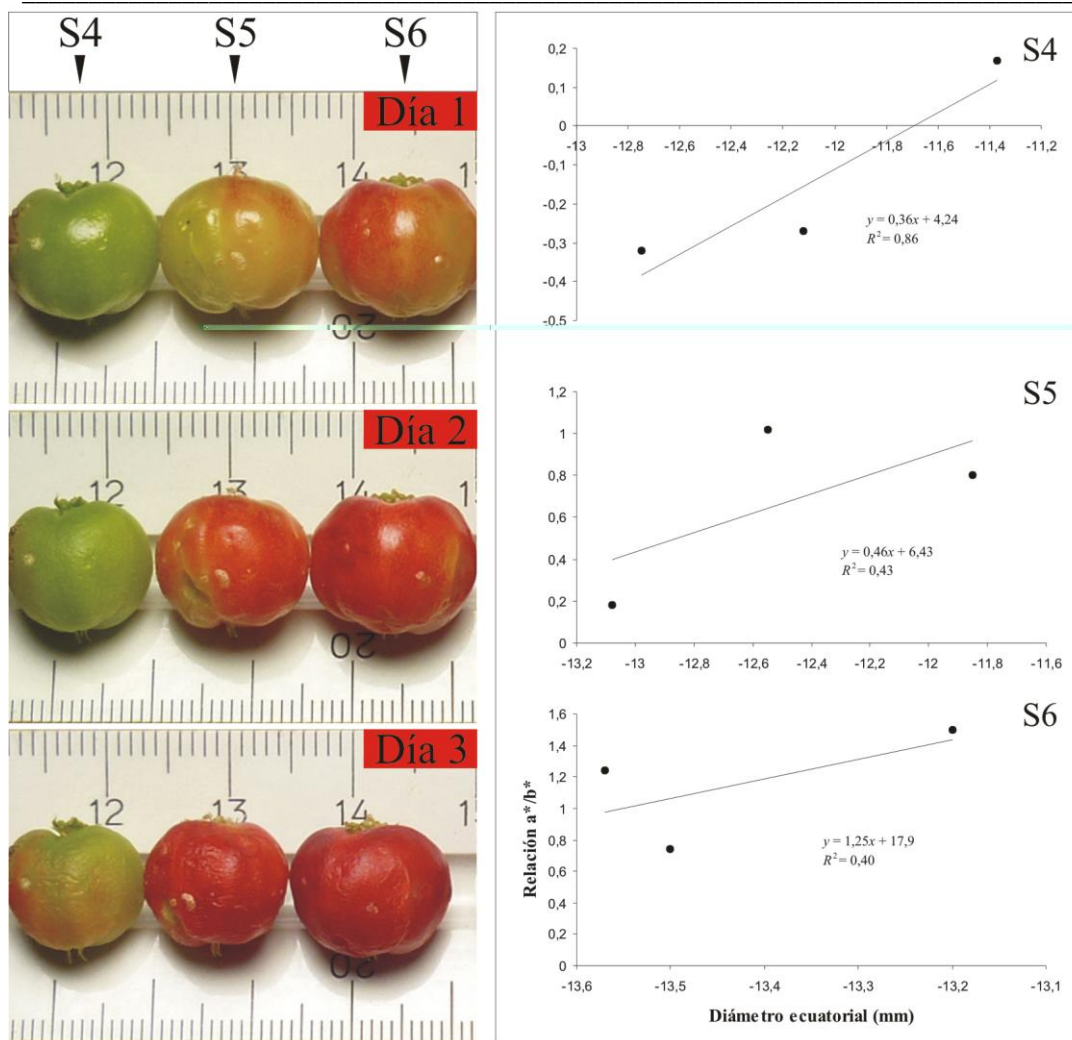
14	55	20	60		0,33	63,25	71,57	15,60
15	51	35	55		0,64	65,19	57,53	17,50
16	47	38	49		0,78	62,01	52,21	9,50
17	48	39	40		0,98	55,87	45,73	10,00
18	46	57	57		1,00	80,61	45,00	16,45
19	48	57	55		1,04	79,21	43,98	14,50
20	36	51	48		1,06	70,04	43,26	17,90
21	36	49	44		1,11	65,86	41,92	17,25
22	39	54	47		1,15	71,59	41,04	12,75
23	35	56	47		1,19	73,11	40,01	13,75
24	35	54	39		1,38	66,61	35,84	11,25
25	25	40	21		1,90	45,18	27,70	14,50



**Figura 5.** Regresión lineal entre el color de los frutos y el tamaño.

Cabe destacar que adicionalmente se recolectaron otros frutos (S4, S5 y S6), en pleno cambio de coloración, en la copa del mismo árbol en la parte superior, y se tomaron fotografías durante 3 días después a temperatura de 28 °C para apreciar variaciones. Hubo disminución de tamaño acompañado de un rápido deterioro de la textura y opacamiento del exocarpo (frutos senescentes); observándose degradación de pigmentos verdes y síntesis de amarillos y rojos (Figura 6). Solo S4 presentó

correlación entre la disminución del tamaño y el aumento de la relación  $a^*/b^*$  ( $R^2 = 0,86$ ). Esto coincide con el señalamiento de Maciel et al. (2008), que el semeruco se caracteriza por un proceso acelerado de deterioro de los frutos luego de la cosecha; y concuerda con lo documentado por Lima de Araújo et al. (2009), la degradación de clorofila y síntesis de pigmentos carotenoides y antocianos puede acontecer después de la cosecha, durante la senescencia, por ser un fruto climatérico.



**Figura 6.** Senescencia de los frutos.

### 3. CONCLUSIONES

El procedimiento empleado permitió determinar características fenotípicas de tamaño de los frutos de semeruco.

Los frutos evaluados presentaron un crecimiento sigmoidal con marcadas diferencias entre los tiempos de crecimiento hasta la abscisión y los diámetros ecuatoriales alcanzados.

Los cambios de coloración de verde+anaranjado a rojo ocurrieron entre 42 y 54 h, después de empezar las medidas.

No hubo correlación entre el color de estados de maduración de los frutos y el diámetro ecuatorial ( $R^2 = 0,06$ ).

### 4. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Asociación Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos (Asociación RVCTA), el hardware, software y el aporte económico que fue necesario para el desarrollo del trabajo.

### REFERENCIAS

- ALVES, R.E.; MENEZES, J.B.; CHITARRA, A.B.; FERNANDES-CHITARRA, M.I. Atividade respiratória e características físico-químicas e químicas de acerolas (*Malpighia emarginata* D. C.) em diferentes estádios de maturação. *Agropecuária Técnica*, v.13, n.1/2, p.33-39, 1992.
- ANTUNES, A.M.; VALMÓRBIDA, J.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Uso de reguladores vegetais na conservação refrigerada de acerolas (*Malpighia glabra* L.). *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.6, p.1241-1245, 2006
- AVANZA, M.M.; GIMÉNEZ, L.; MAZZA, S.M.; RODRIGUEZ, V.A. Descripción del crecimiento de frutos de naranjo dulce mediante el uso de modelos no lineales. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Resumen: A-018, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, 2004.
- CAÑIZARES, A.; LAVERDE, D.; PUESME, R. Crecimiento y desarrollo del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santa Bárbara, Estado Monagas, Venezuela. *Revista UDO Agrícola*, v.3, n.1, p.34-38, 2003.
- DARRIGUES, A.; HALL, J.; van der KNAAP, E.; FRANCIS, D.M.; DUJMOVIC, N.; GRAY, S. Tomato Analyzer-color Test: A New Tool for Efficient Digital Phenotyping. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.133, n.4, p.579-586, 2008
- de ASSIS, S.A.; FERNANDES, P.F.; MARTINS, A.B.G.; de FARIA-OLIVEIRA, O.M.M. Acerola: importance, culture conditions, production and biochemical aspects. *Fruits*, v.63, n.2, p.93-101, 2008.
- GUADARRAMA, Á. 1983. Algunos cambios químicos durante la maduración de frutos de semeruco (*Malpighia puniceifolia* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)*, v.XIII, n.1-4, p.111-128, 1983.
- LASKOWSKI, L.E. Características anatómicas de la hoja y el tallo del semeruco (*Malpighia emarginata* DC) cultivado en dos localidades del Estado Lara. *Bioagro*, v.12, n.2, p.33-40, 2000.
- LASKOWSKI, L.E.; BAUTISTA, D. Evaluación de características vegetativas, productivas y de calidad de la fruta de plantas de semeruco cultivadas en zonas áridas. *Agronomía Tropical*. v.48, n.3, p.239-249, 1998.
- LIMA de ARAÚJO, P.G; de FIGUEIREDO, R.W.; ALVES, R.E.; ARRAES-MAIA, G.; HERBSTER-MOURA, C.F.; MACHADO de SOUSA, P.H. Qualidade físico-química e química de frutos de clones de aceroleira recobertos com filme de PVC e conservados por refrigeração. *Semina: Ciências Agrárias*, v.30, n.4, p.867-880, 2009.
- LÓPEZ-CAMELO, A.F.; GOMEZ, P.A. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, v.22, n.3, p.534-537, 2004.
- MACIEL, M.I.S.; da SILVA W.S.; de SOUZA, K.A.; MELO, E de A.; de LIMA, V.L.A.G.; PEDROSA, E.M.R. Modificações pós-colheita em frutos de 16 genótipos de aceroleira armazenados sob refrigeração. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, n.2, p.157-163, 2008.
- MARTÍNEZ, R.; MARTÍNEZ, J.J.; MARTÍNEZ VALERO, R.; MARTÍNEZ, J. Contribución al estudio de la evolución del crecimiento del fruto cvr. Hass (*Persea americana* Mill.) con respecto al tiempo en las condiciones ecológicas del área de Motril (Granada, España). In: Proceedings V World Avocado Congress. p.257-261, 2003.



- MENDOZA, F.; AGUILERA, J.M. Application of image analysis for classification of ripening bananas. **Journal of Food Science**, v.69, n.9, p.E471-E477, 2004.
- MEZADRI, T; VILLAÑO, D.; FERNÁNDEZ-PACHÓN, M.S.; GARCÍA-PARRILLA, M.C.; TRONCOSO, A.M. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.21, n.4, p.282-290, 2008.
- MEZADRI, T.; FERNÁNDEZ-PACHÓN, M.S.; VILLAÑO, D.; GARCÍA-PARRILLA, M.C.; TRONCOSO, A.M. El fruto de la acerola: composición, características productivas e importancia económica. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.56, n.2, p.101-109, 2006.
- OCHOA-GANOVA, S; PÉREZ-HERNÁNDEZ, I.; De JONG, B.H.J. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. **Revista de Biología Tropical**, v.56, n.2, p.657-673, 2008.
- PADRÓN-PEREIRA, C.A. Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L\*a\*b\*. **Agronomía Costarricense**, v.33, n.2, p.283-301, 2009.
- PEREA-CÓRDOBA, M.O.; PARRA-ASPRILLA, A.P.; GARCÍA-COSÍO, F.; RAMOS-PALACIOS, Y.A.; CÓRDOBA-MENA, J.A. **Fenología, propagación y etnobotánica del algarrobo *Hymenaea oblongifolia* una especie maderable y alimenticia del departamento del Choco**. Memorias del X Seminario Nacional y IV Internacional de especies promisorias "Biodiversidad y Bioprospección", Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- PÉREZ de CAMACARO, M.; JIMÉNEZ, A. Crecimiento y abscisión del fruto de naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en un huerto del Estado Portuguesa, Venezuela. **Bioagro**, v.21, n.2, p.133-137, 2009.
- PINO-BENÍTEZ, N.; MOSQUERA-MOSQUERA, H.R. Comportamiento fenológico de tres especies maderables con riesgo de extinción en Colombia y altos índices de explotación en el choco: *Huberodendron patinoi* "Carrá", *Cariniana pyriformis* Mier "Abarco" y *Humiriastrum procerum* Little "Chanó". **Lyonia**, v.7, n.1, p.107-114, 2004.
- RAFFO, D.; CURETTI, M.; RODRÍGUEZ, A. Curvas de crecimiento en cerezas. **Cultivos Frutihortícolas**, Boletín técnico N° 14, Serie C-3, 2007.
- RECCE, M.; TAYLOR, J.; PLEBE, A; TROPIANO, G. **Vision and neural control for an orange harvesting robot**. In: Proceedings International Workshop on Neural Networks for Identification, Control, Robotics, and Signal/Image. 21-23 August, Venice, Italy, p.467-475, 1996.
- SALAMANCA-G., G.; TRIANA, M.; LANDWEHR, T. Características generales relativas a *Malpighia puniceifolia* L. (Acerola), 1999. Disponible en: <<http://archivo.ut.edu.co/investigacion/seminario/gsalamanca.doc#Acerola>>, acceso el 07 de mayo de 2010.
- SILVA de FREITAS, C.A.; ARRAES-MAIA, G.; CORREIA da COSTA, J.M.; de FIGUEIREDO, R.W.; MACHADO de SOUSA, P.H. Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, n.4, p.395-400, 2006
- YAMASHITA, F.; NAKAGAWA, A.; VEIGA, G.F.; MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E. Embalagem ativa para frutos de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**. v.9, n.2, p.95-100, 2006.