

# Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía colombiana

Evaluating growth and determining harvesting index in four types of hot chilli pepper (*Capsicum* sp.) grown in the Colombian Amazonian region

Mario A. Méndez<sup>1</sup>; Gustavo A. Ligarreto<sup>2</sup>; María Soledad Hernández<sup>3</sup> y Luz Marina Melgarejo<sup>4</sup>

**Resumen:** El género *Capsicum* presenta una gran oferta de materiales vegetales, los cuales reúnen características de precocidad, productividad y demanda comercial que los convierte en un recurso genético promisorio para los sistemas productivos y hace viable su inclusión en agrocadenas de los mercados nacional e internacional. En este trabajo se evaluó el crecimiento y se determinaron los índices de cosecha de los frutos de cuatro accesiones de ají que hacen parte de una colección de 472 materiales pertenecientes al banco de germoplasma *ex situ* del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –SINCHI–, seleccionados por su grado de adaptabilidad y producción. El ensayo se inició con la identificación de frutos recién cuajados, cuyos ovarios no habían sobrepasado aún el ápice del cáliz, con pistilo de color blanco o con algo de necrosis; los frutos con estas características se marcaron con el fin de realizar dos cosechas por semana. Desde el cuajamiento hasta la maduración, se evaluaron variables físicas, fisiológicas y químicas en los estados verde, madurez fisiológica y maduro. Los frutos del material CS-032 (*C. annuum* L.) tomaron 46 días para alcanzar su estado de madurez mientras que los otros materiales lo alcanzaron a los 35 y 38 días. Los frutos de la mayoría de los materiales evaluados presenta ron un comportamiento no climático, excepto los frutos del material CS-170 (*C. baccatum* L.), los cuales presumiblemente presentan un comportamiento climático.

**Palabras clave:** Características físicas, madurez, accesión.

**Abstract:** The *Capsicum* genus represents a potentially wide-ranging genetic supply of vegetal material, combining the characteristics of pungency, precocity, high-profitable and commercial demand, leading to its inclusion in national and international markets, making them promising products in production systems. This paper has evaluated growth and determined harvest indexes for four chilli pepper accessions forming part of Instituto SINCHI's *ex situ* germplasm bank (472 items selected for their adaptability and productivity). The study began by identifying recently set fruit whose ovaries had still not passed the apex of the calyx, having a white pistil or some necrosis; fruit having such characteristics were marked for being harvested twice per week. Fruit was evaluated according to physical characteristics (from coagulation to maturation); their physiological and chemical variables were evaluated during the next stages: unripe, physiologic maturity and maturity. Fruit from accession CS-032 (*C. annuum* L.) needed 46 days to reach maturity respecting other accessions which reached it at the end of 35 and 38 days. Most accessions' fruit presented non-climatic behaviour, except fruit from accession CS-170 (*C. baccatum* L.) which probably presented climatic behaviour.

**Key words:** Physical characteristics, maturation, accession.

Fecha de recepción: 15 de abril de 2004.  
Aceptado para publicación: 27 de mayo de 2004.

- 1 Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: marioalx@hotmail.com
- 2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: galigarretom@unal.edu.co
- 3 Investigadora, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá. e-mail: shernandez@sinchi.org.com
- 4 Profesora Asociada, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: lmmelgarejom@unal.edu.co

## Introducción

SEGÚN QUINTERO (2000), el género *Capsicum* juega un importante papel en el sector hortícola del país; en las culturas indígenas se asume como una de las especies de cultivo transitorio esencial en los arreglos de policultivo. Además de su uso medicinal, los frutos se utilizan –procesados o en fresco y bajo diferentes formas– para la preparación y aliño de los alimentos. La calidad de los frutos del ají y de sus subproductos depende del color, el aroma y la pungencia (Kirschbaum *et al.*, 2002a; y Macrae *et al.*, 1993); particularmente el color rojo del *Capsicum*, originado por la presencia de pigmentos carotenoides (Popovsky y Paran, 2000; Mínguez y Pérez, 1998), lo hace importante en la industria de especias, siendo la especie *C. annum* L. la de mayor distribución.

Las plantas de ají se adaptan bien en climas templados y cálidos, y resisten épocas de sequía y alta nubosidad; entre las condiciones óptimas para su cultivo se encuentra una temperatura de 18 a 24° C, una precipitación anual entre 600 y 1.250 mm y una humedad relativa entre 70 y 90%. En Colombia los cultivos se encuentran desde el nivel del mar hasta 1.600 m.s.n.m. Según Villachica (1996), la Amazonía presenta condiciones favorables para la producción continua de ají durante el año, lo que podría servir para abastecer el mercado de los países con inviernos prolongados.

La eficiencia de las plantas cultivadas en cuanto al rendimiento y la producción puede medirse mediante el empleo de índices de crecimiento, los cuales, según Archila *et al.* (1998), indican la eficacia de las plantas para aprovechar los factores ambientales del sitio donde crecen y la forma como las plantas distribuyen sus asimilados.

El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar el patrón de crecimiento de los frutos de cuatro (4) accesiones de ají amazónico mediante la descripción del comportamiento de variables físicas, químicas y fisiológicas con el fin de establecer el estado óptimo para la cosecha. A tal fin se realizó un análisis de crecimiento, método que describe apropiadamente las condiciones morfofisiológicas de la planta en diferentes intervalos de tiempo, y que refleja la dinámica de la producción fotosintética a través de la acumulación de materia seca. Se utilizó la tasa relativa de crecimiento, parámetro que permite conocer los mecanismos a través de los cuales la materia orgánica que se produce es translocada a los diferentes órganos de la planta.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó en predios del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –SINCHI– ubicado en Leticia, departamento del Amazonas, a una altitud de 96 m.s.n.m., y una temperatura promedio anual de 29° C.

En el ensayo se utilizaron como tratamientos cuatro materiales, sembrados cada uno en camas o parcelas de 5 m de largo por 1 m de ancho; las plantas se establecieron en surcos dobles distanciados 0,6 m dejando 0,4 m entre plantas, para un total de 20 plantas por parcela. El experimento inició con la identificación de los frutos recién cuajados que se caracterizan por la abscisión de los pétalos, el estigma con necrosis y por el inicio de la expansión del ovario. Se marcaron 300 frutos con estas características por cada material; el tamaño de muestra fue de 10 frutos, los cuales se recolectaron con una periodicidad de tres a cuatro días. Inicialmente, a los frutos se les evaluaron las variables físicas: volumen, diámetro transversal, diámetro longitudinal, peso fresco y peso seco. La evaluación del carácter morfológico, la forma del fruto, se realizó con base en los descriptores propuestos por el IPGRI (1995) para el género *Capsicum*. Para describir el color en los diferentes estados de desarrollo se utilizó la carta de colores HRS (*The Royal Horticultural Society Colour Chart*).

El material vegetal usado corresponde a las introducciones CS-003 (*C. chinense* Jacq.), CS-032 (*C. annum* L.), CS-049 (*C. annum* L.) y CS-170 (*C. baccatum* L.), las cuales fueron colectadas en la región amazónica y fueron seleccionadas teniendo en cuenta características como la pungencia, la adaptación y la productividad.

La tasa relativa de crecimiento (TRC) se midió por la diferencia en el logaritmo natural de los pesos secos con respecto al tiempo en dos periodos continuos con intervalos de tres a cuatro días. Para la medición de la intensidad respiratoria se utilizó el método de Warburg con base en la metodología propuesta por Chaparro y Orozco (1995) con algunas modificaciones de Gallo (1996) (Tabla 1).

Las variables químicas se determinaron así:

- El pH se analizó sobre una muestra de jugo de ají representativa (20 ml) obtenida mediante macerado y filtrado en un tamiz; se introdujo el poro del potenciómetro de manera que quedara totalmente sumergido.

**Tabla 1.** Variables físicas, fisiológicas y químicas que se evaluaron en cuatro accesiones de ají (*Capsicum* spp.) y métodos de cuantificación usados. Leticia (Colombia, 2002 B).

Variable	Abreviatura	Material	Método / Fórmula
<b>Características físicas</b>			
Peso fresco (g)	PF	Balanza analítica (0.001 g)	
Diámetro longitudinal (cm)	DL	Calibrador de Vernier	
Diámetro transversal (cm)	DT	Calibrador de Vernier	
Volumen (ml)	Vol	Probeta	Método Arquímedes
Peso seco (g)	PS	Estufa a 90° C / 6 h	
Porcentaje de humedad (%)	%H		$(PF-PS)*100 / PF$
<b>Características fisiológicas</b>			
Tasa de crecimiento (diámetro, volumen, peso fresco)	TC		$\ln D_2 - \ln D_1 / t_2 - t_1$
Tasa relativa de crecimiento	TRC		$\ln PS_2 - \ln PS_1 / t_2 - t_1$
Velocidad de crecimiento	VC		$D_2 - D_1 / t_2 - t_1$
Velocidad relativa de crecimiento	VRC		$PS_2 - PS_1 / t_2 - t_1$
Intensidad respiratoria (mg CO <sub>2</sub> :kg fruta·h <sup>-1</sup> )	IR	Pipeta aforada, bureta, KOH, Ba (OH) <sub>2</sub> 0.1N, ácido oxálico, fenolftaleína 0.1% en solución alcohólica	Respirómetro de Warburg
<b>Características químicas</b>			
pH		Potenciómetro	
Porcentaje de acidez (%)	% acidez	Pipeta, bureta, potenciómetro, NaOH	Titulación potenciométrica
Sólidos solubles (%)	SS	Refractómetro ATAGO	
Relación de madurez	RM		SS / % Acidez

- La acidez total titulable (ATT) se determinó por el método de titulación potenciométrica y se expresó como porcentaje de ácido cítrico; esta determinación se realizó mediante un procedimiento de neutralización de la acidez libre total con una solución de Na(OH) 0,1 N.
- El porcentaje de acidez se expresó en gramos del ácido predominante por 100 g de fruto.
- Los sólidos solubles (SS) se obtuvieron macerando los frutos de ají hasta obtener gotas de jugo, se vertió una gota en el refractómetro y se ajustó hasta obtener los dos horizontes del espectro; posteriormente se tomó la lectura de porcentaje de grados (°) Brix.

Los datos de las variables químicas y fisiológicas se obtuvieron a partir de tres estados de desarrollo del fruto para cada accesión (verde, madurez fisiológica y maduro).

Se realizó un análisis de componentes principales a las variables físicas con el fin de identificar las de mayor importancia y con mayor aporte para el análisis; también para describir las relaciones entre las variables evaluadas y establecer la magnitud de la variabilidad entre y dentro de las características medidas. Finalmente se realizó un análisis de varianza y la respectiva prueba de Turkey para identificar las diferencias entre colectas y entre estados de maduración.

## Resultados y discusión

### Variables físicas

La velocidad de desarrollo del fruto, definida como el tiempo que se demora el fruto en crecer después de la antesis hasta su maduración (Gómez, 2000), fue diferente para casi todos los materiales evaluados; los más precoces fueron la accesión CS-170 y la CS-003 con 35 días, seguidas de CS-049 y CS-032 con 38 y 46 días, respectivamente. Este resultado es debido a que el crecimiento y el tamaño del fruto están determinados por el tamaño del ovario que, a su vez, está influido por factores genéticos y por las condiciones ambientales que ocurren durante la formación de la flor y el ovario (Azcón-Bieto y Talón, 1993), como las fluctuaciones de temperatura diaria, el clima, la duración del día, la incidencia de luz solar, la carga, el estado de desarrollo del fruto, la edad de la planta, la disponibilidad de carbohidratos y la densidad (Guzmán, 1988).

La forma de los frutos de las colectas CS-003 y CS-032 es acampanulada. Respecto del color, durante el estado inmaduro presentaron color verde (green group 137 A, HRS) y amarillo en el estado de completa madurez (yellow orange 14 A, HRS); alcanzaron un diámetro longitudinal de 2,21 cm, un diámetro transversal de 2,68 cm, y un peso

promedio de 4,25 g, siendo estos frutos los de mayor peso en comparación con las otras introducciones. Por su parte, los frutos de la introducción CS-032 presentaron dos colores durante sus primeros estados de desarrollo: verde (yellow green group 145, HRS) y morado (greyed purple N186 C, HRS); así mismo, cuando estuvieron completamente maduros presentaron dos tonalidades: morado (greyed purple group 183 A) y rojo. El ápice del fruto fue, por lo general, hundido y puntudo (IPGRI, 1995); alcanzaron un peso fresco de 1,16 g, diámetro longitudinal de 1,53 cm y diámetro transversal de 1,52 cm.

Los frutos de las colectas CS-049 y CS-170 fueron de forma acampanulada y en bloque; el ápice de la CS-049 presentó una cavidad de aproximadamente 10 mm de longitud. Los frutos de color verde en estado inmaduro (yellow-green group 144 A) y rojo en estado maduro (greyed-red group N30 B), con un peso promedio de 3,01 g, diámetro transversal de 1,5 cm y diámetro longitudinal de 4,34 cm. Los frutos de la colecta CS-170 presentaron el ápice hundido, color rojo (orange-red N30 B) cuando maduros y verdes (yellow-green group 144 A) en sus primeros estados de desarrollo. En promedio alcanzaron un peso fresco de 1,61 g, diámetro longitudinal de 1,93 cm y transversal de 1,41 cm.

La capa media o el mesocarpio de la pared del fruto es la responsable del color de los frutos verdes y maduros. Las células del mesocarpio contienen plastidios, los cuales en los frutos inmaduros usualmente contienen clorofila (Macrae *et al.*, 1993). Cuando el fruto alcanza el estado de madurez fisiológica o intermedio, la clorofila y la antocianina se degradan, debido al cambio de pH ocasionado por los ácidos orgánicos de la vacuola (González *et al.*, 2001), los sistemas oxidativos y las clorofi-

lazas. Los cloroplastos se transforman en cromoplastos que contienen los pigmentos carotenoides responsables de su color final. Los diferentes colores del fruto maduro dependen de la calidad y cantidad de los pigmentos carotenoides presentes (Macrae *et al.*, 1993).

El análisis de los componentes principales (Tabla 2) mostró que las variables en orden de importancia fueron: el peso fresco del fruto con y sin pedúnculo, el volumen, el peso seco del fruto con y sin pedúnculo y el diámetro transversal, hacen parte del primer componente principal el cual explica el 71,2% de la variabilidad. Al considerar los vectores característicos del componente principal se pudo establecer que el porcentaje de humedad fue el de mayor peso para el segundo componente, el cual explica el 10,7% de la variabilidad. El análisis de varianza (Tabla 3) presentó diferencias altamente significativas para todas

**Tabla 2.** Análisis de componentes principales para las variables físicas evaluadas en cuatro accesiones de ají (*Capsicum* spp.). Leticia (Colombia, 2002 B).

Componente	Valor característico	Proporción	Acumulado
1	7.124	0.712	0.712
2	1.072	0.107	0.819
3	0.722	0.072	0.891
4	0.439	0.044	0.935
5	0.374	0.037	0.973
6	0.163	0.016	0.989
7	0.090	0.009	0.998
8	0.107	0.002	1.000
9	0.000	0.000	1.000
10	0.000	0.000	1.000

**Tabla 3.** Análisis de varianza para las variables físicas que hacen parte del primer y segundo componente principal. Leticia (Colombia, 2002 B).

FV	GL	CM						
		PFcp	PFsp	PS cp	PSsp	Vol	DT	%H
Accesión	3	31.199 **	29.471 **	0.222 **	0.210 **	79.24 **	6.411 **	181.895 **
Estado	13	39.950 **	37.951 **	0.577 **	0.522 **	94.195 **	13.112 **	125.072 **
Acc*Estado	31	5.730 **	5.413 **	0.053 **	0.052 **	14.157 **	1.291 **	55.212 **
Error	432	0.121	0.113	0.003	0.003	0.378	0.018	20.401
Promedio		1.213	1.157	0.137	0.127	1.812	1.121	88.278
C.V.		28.70	29.103	38.514	40.91	33.961	11.928	5.116

\*\* Significativo al 1%. FV: Fuentes de variación GL: Grados de libertad. CM: Cuadrados medios. PFcp: Peso fresco del fruto con pedúnculo. PFsp: Peso fresco del fruto sin pedúnculo. PS cp: Peso seco del fruto con pedúnculo. PSsp: Peso seco del fruto sin pedúnculo. DT: Diámetro transversal. Vol: Volumen. %H: Porcentaje de humedad (%H). CV: Coeficiente de variación (%).

**Tabla 4.** Prueba de Tukey para las variables físicas evaluadas en cuatro accesiones de ají (*Capsicum* spp.). Leticia (Colombia, 2002 B).

Acc	PFcp	PFsp	PScp	PSsp	DT	VOL	%H
CS-003	1.8113 a	1.7464 a	0.18680 a	0.17793 a	1.3782 a	2.8400 a	89.245 a
CS-032	0.8427 c	0.7904 c	0.09328 d	0.08443 d	1.2457 b	1.2064 c	89.143 a
CS-049	1.5210 b	1.4471 b	0.16164 b	0.1486 b	0.9725 c	2.2038 b	87.964 ab
CS-170	0.794 c	0.7171 c	0.11518 c	0.10878 c	0.8664 d	1.1264 c	86.555 b

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente similares.

Acc.: Acceso evaluada. PFcp: Peso fresco del fruto con pedúnculo. PFsp: Peso fresco del fruto sin pedúnculo. PScp: Peso seco del fruto con pedúnculo. PSsp: Peso seco del fruto sin pedúnculo. DT.: Diámetro transversal. Vol: Volumen. %H: Porcentaje de humedad.

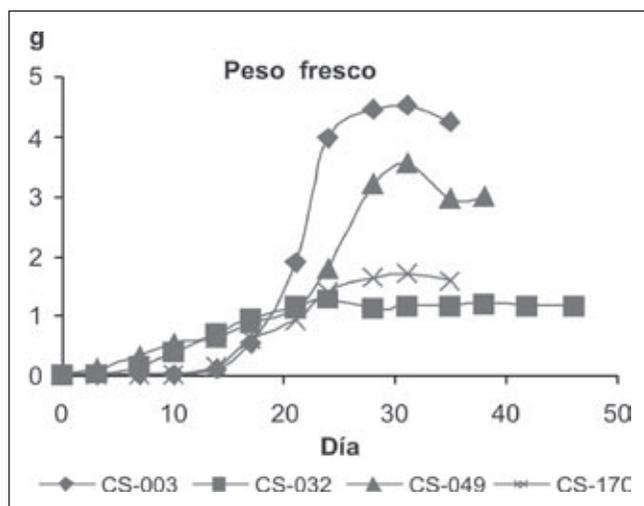
las fuentes de variación y para las variables que hacen parte del primero y segundo componente principal. Al realizar la prueba de Tukey (Tabla 4), se encontraron diferencias significativas entre los cuatro materiales evaluados para las variables peso seco total (PScp), peso seco del fruto sin pedúnculo (PSsp) y diámetro transversal (DT), con los mayores promedios en la colecta CS-003, lo cual significa que en esta accesión ocurrió una alta acumulación de sintetizados de reserva (Hernández *et al.*, 2002) reflejado en su mayor tamaño.

El peso fresco del fruto de los materiales evaluados presentó un comportamiento de tipo sigmoidal (Figura 1), el cual se ha reportado también en otros frutos tropicales como *annonaceae* (*Annona* sp.), mangos (*Mangifera indica*), arazá (*Eugenia stipitata*) (Hernández *et al.*, 2002) y copoazú (*Theobroma grandiflorum*) (González *et al.*, 2001). Se encuentra una primera fase de crecimiento que dura 15 días, caracterizada por un ligero aumento de tama-

ño derivado de la división celular. La segunda fase tiene una duración promedio de nueve días y en este período se presenta un rápido crecimiento del fruto provocado por un aumento del tamaño de las células, el tamaño de las vacuolas intracitoplasmáticas aumenta extraordinariamente y comienzan a acumularse almidón, ácidos orgánicos, azúcares y otros componentes, siendo esta fase la de mayor velocidad de crecimiento. La tercera fase es de crecimiento lento y duró siete días para las introducciones CS-003 y CS-170, 10 días para la introducción CS-049 y 18 días para la CS-032; en esta fase el incremento de peso fue pequeño aunque fueron evidentes los cambios característicos de la maduración, que incluyen una serie de eventos bioquímicos coordinados dirigidos a la degradación de polisacáridos de la pared celular y la lamela media (Gómez, 2000; Perdue *et al.*, 1998). Según Kirschbaum *et al.* (2002b) los capsaicinoides se van acumulando a una tasa máxima cuando el fruto se aproxima al final de la fase de desarrollo; esta acumulación continúa incrementándose después de que la longitud del fruto alcanza un valor máximo (Estrada *et al.*, 2002).

Para la variable peso fresco de la introducción CS-003, la tasa máxima de crecimiento (TC) y la velocidad máxima de crecimiento (VC) se presentaron en la segunda fase de crecimiento, a los 17 y 24 días respectivamente después del cuajado; similares resultados se presentaron para las variables peso seco, volumen y diámetro transversal (Figura 2a). Después del día 17, la TC para el peso fresco presentó un descenso. El máximo valor del peso fresco se presentó en la tercera fase de crecimiento a los 31 días después de cuajado.

La TC de la introducción CS-032 (Figura 2b) fue negativa con excepción de los rangos comprendidos entre los días 4 a 7, 28 a 32, 35 a 39, y 42 a 46, en donde

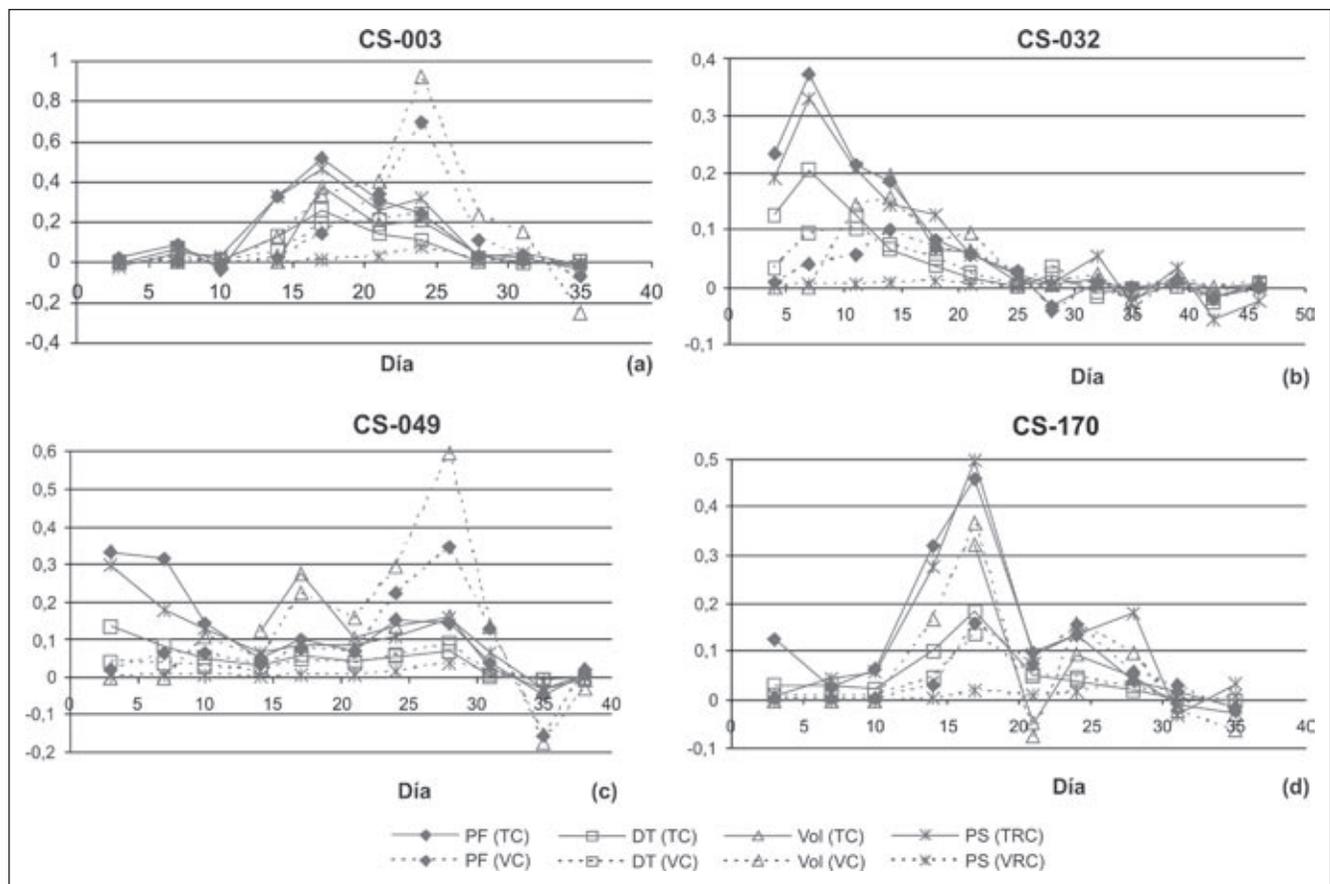


**Figura 1.** Comportamiento del peso fresco del fruto de cuatro introducciones de ají.

se presentó una mayor acumulación de asimilados; el mayor incremento en el porcentaje de peso fresco se presentó, al igual que para la introducción CS-049, en la primera semana de desarrollo; la VC máxima se presentó entre los días 11 y 14. La TC del peso fresco de la introducción CS-049 (Figura 2c) fue negativa, con excepción de los rangos comprendidos entre los días 14 a 17, 21 a 24, y 35 a 38; el período de mayor VC se presentó entre los días 24 a 28. Los frutos de la introducción CS-170 presentaron un aumento rápido de tamaño desde el día 14 hasta el día 24 (Figura 1). Las TC y VC máximas se presentaron entre los 14 y 17 días de desarrollo (Figura 2d).

Según Pineda (2000), el tamaño final del fruto está estrechamente correlacionado con el número de semillas y de lóculos; también se ve influido por la cantidad de asimilados provenientes de las hojas, la temperatura ambiental, la temperatura interna del fruto y la luminosidad. Las diferencias en el peso de los frutos se atribuyen a la composición genética y al ambiente, pues el componente varietal tiene una gran influencia sobre la velocidad de crecimiento, el tamaño final y la forma del fruto (Azcón-Bieto y Talón, 1993; Arjona *et al.*, 1992).

En los datos de crecimiento, expresados en términos de peso seco, existe un periodo inicial de 10 días para la introducción CS-003 donde el crecimiento es lento, seguido de una fase central de rápido aumento de tamaño que dura 10 días y va del día 14 al 24, finalmente se presenta una reducción en la acumulación de materia seca o crecimiento lento. El máximo valor de la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) se presentó entre los 14 y 17 días después del cuajado; la máxima VRC del peso seco se presentó al igual que para las demás variables físicas a los 24 días después de cuajado, este aumento de la velocidad de crecimiento es según Pantastico (1979) un indicador del inicio de la madurez del fruto. La tasa de acumulación de materia seca, o TRC, para la introducción CS-032 presentó el mayor incremento en el día 7, lo que coincidió con el aumento de



**Figura 2.** Tasa de crecimiento (TC) para las variables peso fresco (PF,  $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ ); diámetro transversal (DT,  $cm \cdot cm^{-1} \cdot d^{-1}$ ) y volumen (Vol,  $ml \cdot ml^{-1} \cdot d^{-1}$ ); tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable peso seco (PS,  $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ ); velocidad de crecimiento (VC) para las variables peso fresco (PF,  $g \cdot d^{-1}$ ), diámetro transversal (DT,  $cm \cdot d^{-1}$ ) y volumen (Vol,  $ml \cdot d^{-1}$ ); velocidad relativa de crecimiento (VRC) para el peso seco ( $g \cdot d^{-1}$ ) de los frutos de las introducciones de ají CS-003 (a), CS-032 (b), CS-049 (c) y CS-170 (d).

peso fresco; la máxima Velocidad Relativa de Crecimiento (VRC) se presentó en el día 18. El descenso de la TRC del día 7 al día 28 es ocasionado por las diferencias entre la tasa de división y el crecimiento celular (Hernández *et al.*, 2002), sin embargo, durante los primeros 17 días se presentó una mayor eficiencia en cuanto conversión a materia seca, en comparación con los días siguientes de desarrollo del fruto. Caso contrario se evidenció para los frutos de la introducción CS-049, en los cuales el peso seco mostró una tasa de crecimiento negativa para el período inicial de crecimiento, la mayor VRC se presentó en el día 28, al igual que para la introducción CS-170, cuya TRC fue ascendente a excepción de los rangos comprendidos entre 17 a 21 días y 28 a 31 días.

La máxima TRC se alcanzó en el día 17 para las introducciones CS-003 y CS-170 con valores cercanos a 0,5 g/g-día, siendo más precoces, productivas y eficientes en la conversión de materia seca. A diferencia de las demás introducciones, la CS-049 presentó una alta TRC durante los primeros tres días de desarrollo, indicando que en ese momento la planta había acumulado 0,3 g por cada gramo de materia seca del fruto.

El aumento del diámetro transversal de los frutos de las cuatro introducciones de ají presentó un comportamiento de tipo sigmoidal simple identificándose tres etapas de crecimiento: 1) división celular, 2) máximo crecimiento correspondiente a la expansión celular y 3) final de estabilización del crecimiento. La máxima TC del diámetro transversal se presentó en la segunda fase de crecimiento, entre 14 y 17 días para las introducciones CS-003 y CS-170, y en la primera fase de crecimiento, para las introducciones CS-032 y CS-049. La velocidad de crecimiento para la introducción CS-003 fue mayor entre 21 y 24 días. La TC para la introducción CS-032 fue generalmente decreciente a excepción del periodo entre los días 4 a 7, 25 a 28 días, 32 a 39 días, y 42 a 46 días; la VC fue mayor entre los días 7 y 11. El diámetro transversal de la introducción CS-049 presenta una mayor TC a los 3 días de desarrollo; la mayor VC se presentó a los 28 días.

El máximo crecimiento de los frutos en diámetro transversal, ocurre en la segunda fase de crecimiento, como resultado de la elongación celular y de la acumulación de sintetizados de reserva, principalmente de sacarosa. El aumento final del diámetro transversal de los frutos de ají en la tercera fase de crecimiento puede estar asociado a un llenado final en el fruto como resul-

tado del aumento de la síntesis de algunos compuestos de reserva (Hernández *et al.*, 2002). En esta etapa también se completa el proceso de maduración del fruto y el inicio de la senescencia.

### Variables fisiológicas

En la matriz de correlación (Tabla 5) se observa que la concentración de sólidos solubles presenta una correlación positiva con las variables pH y acidez. La intensidad respiratoria está correlacionada positivamente con la concentración de sólidos solubles y el pH, porque la concentración de azúcares en la mayoría de los frutos está, por lo general, en exceso cuando se les considera como substrato respiratorio (Azcón-Bieto y Talón, 1993).

**Tabla 5.** Matriz de correlación para las variables químicas y fisiológicas.

	pH	Acidez	SS	RM	IR
pH	1.00	0.233	0.631**	0.076	0.551**
Acidez		1.00	0.525**	-0.635**	0.254
SS			1.00	-0.305	0.687**
RM				1.00	-0.047
IR					1.00

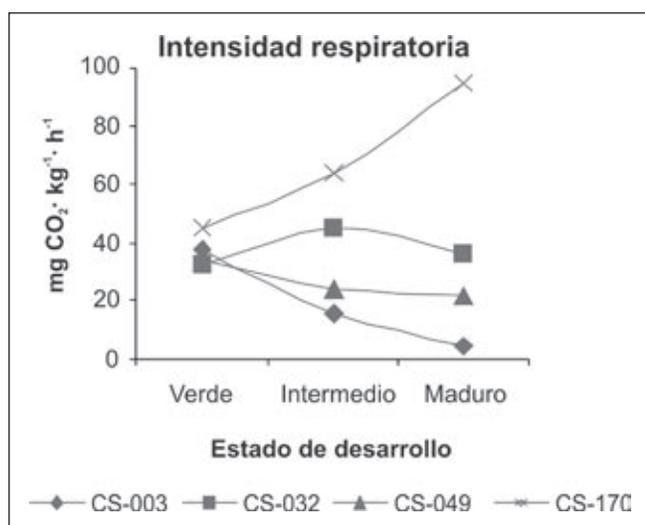
\*\* Significativo al 1%.

SS: Sólidos solubles. RM: Relación de madurez. IR: Intensidad respiratoria.

El ají y el pimentón se clasifican como frutos no climatéricos, que no continúan con su proceso de maduración después de su desprendimiento de la planta y porque sus patrones de respiración cambian lentamente después de cosechados (Villavicencio *et al.*, 2001).

Los frutos maduros de las introducciones CS-003, CS-032 y CS-049 presentaron un comportamiento no climatérico, con una intensidad respiratoria de 4,51; 35,81 y 21,73 mg CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3). No obstante, los frutos de la introducción CS-170 presentaron un aumento de su intensidad respiratoria en estado maduro que alcanzó valores de 95 mg CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, mientras en el estado verde la intensidad respiratoria fue muy similar a la de las otras introducciones; sin embargo, ésta fue ascendiendo a medida que el fruto fue madurando, diferenciándose del patrón respiratorio de las demás introducciones.

La afirmación de Nuez *et al.* (1996) que los pimientos de fruto pequeño, más primitivos, son climatéricos mien-



**Figura 3.** Intensidad respiratoria de los frutos de cuatro introducciones de ají.

tras que los pimientos de carne gruesa no lo son, difiere de lo hallado en estas accesiones, puesto que la introducción CS-032, además de presentar el fruto de menor tamaño y tener características que la podrían identificar como la más silvestre, no presentó un comportamiento climatérico. En general, cada introducción presenta un patrón particular de producción de CO<sub>2</sub> durante la maduración, particularmente en los estados intermedio y maduro, lo que concuerda con Villavicencio *et al.* (2001). Según Azcón-Bieto y Talón (1993), los cambios en la respiración que tienen lugar en los frutos no climatéricos son menos drásticos y exhiben un decrecimiento lento desde la anthesis, quizá con un ligero incremento al final de la maduración o en la posmaduración, como se evidencia en los frutos de las entradas CS-049 y CS-032.

### Variables químicas

El análisis de varianza (Tabla 6) presentó diferencias altamente significativas entre las introducciones, el estado

y la interacción introducción × estado para las variables pH, % acidez y sólidos solubles (SS). Según la prueba de Tukey (Tabla 7), no se presentaron diferencias significativas para las variables químicas entre las introducciones CS-003 y CS-049. La introducción CS-170 presentó diferencias significativas con las demás introducciones para las variables pH, acidez y sólidos solubles.

Los frutos de los materiales evaluados tuvieron un pH ácido (entre 5,5 y 6,2) que presentó un comportamiento descendente hasta llegar al estado de madurez fisiológica. Las introducciones CS-003 y CS-032 aumentaron su pH en estado maduro (Figura 4a). Se presentaron diferencias significativas entre el estado verde y los estados de madurez fisiológica y maduro, pero entre estos dos últimos estados no se presentaron diferencias significativas (Tabla 8). Estos cambios de pH son ocasionados por la salida de ácidos orgánicos de la vacuola, lo cual se relaciona con el cambio en la coloración del fruto (González *et al.*, 2001) y se presenta en el estado intermedio o de madurez fisiológica.

Según Azcón-Bieto y Talón (1993), la acidez titulable (proporción de acidez no combinada con cationes) es un parámetro bastante objetivo de la percepción detectada por los consumidores. El porcentaje de acidez,

**Tabla 7.** Prueba de Tukey para las variables químicas y fisiológicas.

Acc	pH	Acidez †	SS	RM	IR †
CS-003	5.668 c	0.207 bc	5.533 b	27.078 b	23.44 b
CS-032	5.903 b	0.133 c	5.900 b	48.505 a	37.78 ab
CS-049	5.669 c	0.378 b	5.711 b	29.564 b	26.48 b
CS-170	6.148 a	0.665 a	8.122 a	22.605 b	67.85 a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente similares.  
 SS: Sólidos solubles. RM: Relación de madurez. IR: Intensidad respiratoria.  
 † Variables transformadas con (Arco seno √x) / 100.

**Tabla 6.** Análisis de varianza para las características químicas y fisiológicas.

FV	GL	pH	Acidez †	SS	RM	IR †
Acc	3	0.472**	0.502**	13.242**	1172.510**	3698.035**
Estado	2	0.073**	0.465**	5.702**	746.536*	108.556
Acc* Estado	6	0.037**	0.349**	2.120**	796.683**	848.339
Error	24	0.003	0.037	0.092	144.47	518.486
Promedio		5.847	0.346	6.317	31.938	38.891
C.V.		1.023	20.498	4.793	37.635	26.562

\*Significativo al 5%. \*\* Significativo al 1%.  
 C.V.: Coeficiente de variación (%). RM: Relación de madurez. IR: Intensidad respiratoria. † Variables transformadas con (Arco seno √x) / 100.

**Tabla 8.** Prueba de Tukey para las variables químicas y fisiológicas según el estado de desarrollo.

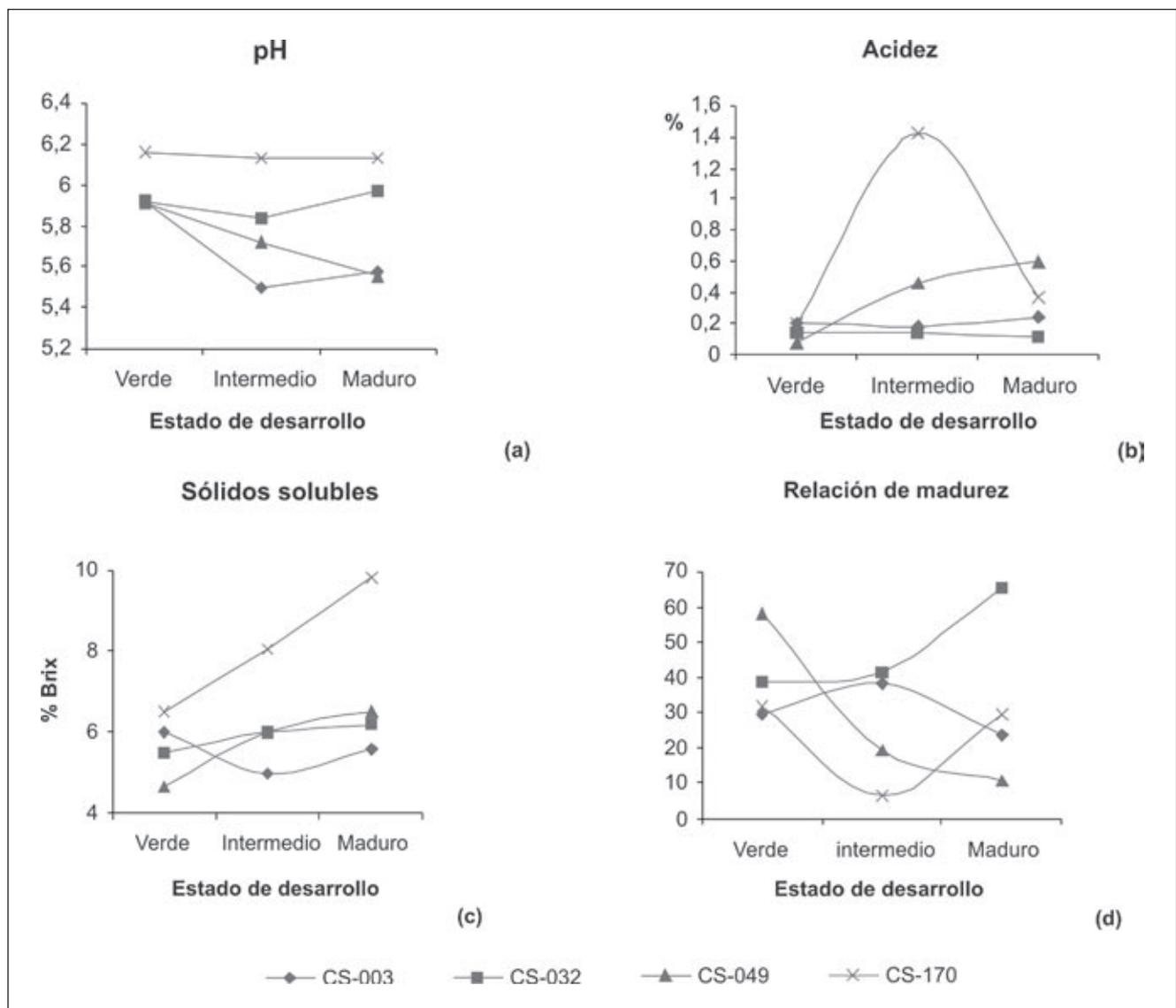
ESTADO	pH	Acidez <sup>†</sup>	SS	RM	IR <sup>†</sup>
VERDE	5.933 a	0.158 b	5.658 c	39.654 a	37.215 a
INTERMEDIO	5.781 b	0.551 a	6.258 b	23.890 b	37.094 a
MADURO	5.827 b	0.329 a	7.033 a	39.654 a	42.363 a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente similares.  
 SS: Sólidos solubles. RM: Relación de madurez. IR: Intensidad respiratoria.  
<sup>†</sup> Variables transformadas con  $(\text{Arco seno } \sqrt{x}) / 100$ .

expresado como porcentaje de ácido cítrico presentó el mayor valor en el estado de madurez fisiológica (1,42%) para la accesión CS-170 (Figura 4b); poste-

riormente se presentó un descenso rápido debido a que los ácidos orgánicos son respirados y se reducen sus contenidos (Gallo, 1996).

Las diferencias altamente significativas que presentó el análisis de variancia entre introducciones y estados de desarrollo para los sólidos solubles (SS) se pueden explicar dado que el contenido de azúcares depende de la especie, el estado de nutrición, la cantidad de frutos y el estado de desarrollo (Azcón-Bieto y Talón, 1993). La concentración de SS para la mayoría de los materiales presentó un comportamiento ascendente a medida que el fruto maduraba (Figura 4c); en este estado los azúcares totales y reductores se encuentran



**Figura 4.** Comportamiento de los frutos de cuatro introducciones de ají en tres estados de desarrollo para las variables (a) pH, (b) acidez, (c) concentración de sólidos solubles y (d) relación de madurez.

en su máximo nivel (Osuna *et al.*, 1998). La introducción CS-170 presentó una concentración de 9,83% siendo la más alta en comparación con las otras introducciones, lo cual tuvo lugar por cuanto presentó mayor translocación de productos fotosintéticos, principalmente sacarosa, desde las hojas hacia los frutos durante el período de cosecha y por una mayor acumulación de azúcares sencillos originados por hidrólisis a partir de polímeros de reserva de cadena larga. La acumulación de azúcares en frutos no climatéricos está asociada con el desarrollo de la calidad óptima de consumo, aunque el azúcar puede derivarse de la savia importada por el fruto antes que del rompimiento de las reservas de almidón (Wills *et al.*, 1998).

En la variable relación de madurez, el análisis de varianza (Tabla 6) presentó diferencias altamente significativas entre introducciones y para la interacción estados  $\times$  introducción. Así mismo, se presentaron diferencias significativas entre estados. La prueba de Tukey (Tabla 7) indicó que la introducción CS-032 presentó diferencias significativas con las otras introducciones y tuvo una relación de madurez en estado maduro de 64,94%, siendo a su vez la más alta entre todas las introducciones, lo que indicaría una mayor palatabilidad por parte de los consumidores, ya que la relación sólidos solubles (SS): acidez total titulable (ATT) refleja el balance dulce/ácido de los frutos y es usado como un criterio para evaluar la calidad de los frutos (González *et al.*, 2001).

El aumento de la relación de madurez (RM) en el estado maduro para las introducciones CS-032 y CS-170 (Figura 4d) es el resultado de un importante conjunto de procesos que dan el sabor característico del fruto maduro, la mayoría asociados con hidrólisis enzimáticas. Así, se produce la degradación hidrolítica del almidón y las pectinas aumentando el sabor dulce (Nuez *et al.*, 1996) el cual es ocasionado por el aumento de sólidos solubles y azúcares, y por el descenso del contenido de ácidos durante la maduración. La introducción CS-049 presentó un comportamiento ascendente con la maduración del fruto principalmente para el porcentaje de acidez.

## Conclusiones

La velocidad de desarrollo de los frutos depende del genotipo y así, se logró identificar que los frutos de las introducciones CS-003 (*C. chinense* Jacq.) y CS-170 (*C. baccatum* L.) fueron las de mayor velocidad de desarrollo,

mientras que la accesión CS-032 (*C. annuum* L.) fue la de menor velocidad de desarrollo.

El cambio de color es el índice de recolección más apropiado para los frutos de ají de las introducciones evaluadas, aún en frutos que no presentan cambios de coloración observables a simple vista, como los de la introducción CS-032 (*C. annuum* L.), para los cuales mínimas modificaciones en la coloración del ápice del fruto constituyen un apropiado indicador para la recolección.

Aún cuando la mayoría de las introducciones presentan un comportamiento no climatérico, la introducción CS-170 (*C. baccatum* L.) probablemente presenta un comportamiento climatérico debido a los datos de su intensidad respiratoria y de las demás variables químicas evaluadas; sin embargo, se recomienda realizar evaluaciones con mayor periodicidad y mediciones de la concentración de etileno para confirmar lo expuesto.

## Bibliografía

**Archila, P.; U. Contreras; H. Pinzón; H. Laverde y G. Corchuelo. 1998.** Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). Agronomía Colombiana 15 (1), 68-75.

**Arjona, H.; M. Montalvo y M. Soto. 1992.** Evaluación del comportamiento agronómico de tres híbridos y dos cultivos de pepino cohombro (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. Revista Comalí 19 (1), 11-14.

**Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 1993.** Fisiología y bioquímica vegetal. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, Madrid. 581 p.

**Chaparro A. y M. Orozco. 1995.** La fisiología vegetal práctica. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Guía de laboratorio. 2 p.

**Estrada, B.; M. Bernal; J. Díaz; F. Pomar y F. Merino. 2002.** Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* L. in relation to fruiting. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50, 1188-1191.

**Gallo, F. 1996.** Manual de fisiología, patología, post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Servicio Nacional de Aprendizaje –SENA–, Armenia. 250 p.

**Gómez, D. 2000.** Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en función del cli-

ma. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 70 p.

**González, V.; M.S. Hernández; A. Herrera; J. Barre-ra; O. Martínez y D. Pérez. 2001.** Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) producida en el piedemonte amazónico colombiano. *Agronomía Colombiana* 18(1-3), 53-62.

**Guzmán, J. 1988.** El cultivo del pimiento y el ají. Espasande S.R.L. Editores. Primera edición. Caracas. 180 p.

**Hernández, M.; H. Arjona; B. Coba; G. Fischer y O. Martínez. 2002.** Crecimiento físico y anatómico del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh). *Agronomía Colombiana* 19(1-2), 13-21.

**IPGRI. 1995.** Genetic Resources of Capsicum. IPGRI Secretariat Rome, Italy. En: www.ipgri.cgiar.org

**Kirschbaum-Titze, P.; E. Mueller-Seitz y M. Petz. 2002a.** Pungency in paprika (*Capsicum annum*): 1. Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 1260-1263.

**Kirschbaum-Titze, P.; E. Mueller-Seitz y M. Petz. 2002b.** Pungency in paprika (*Capsicum annum*): 2. Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from one plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 1264-1266.

**Macrae, R.; R. Robinson y M. Sadler. 1993.** *Encyclopaedia of food science food technology and nutrition.* Academic Press, Nueva York. pp. 3496-3504.

**Minguéz-Mosquera, M. y A. Pérez-Gálvez. 1998.** Color quality in paprika oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 5124-5127.

**Nuez, F.; R. Gil y J. Costa. 1996.** El cultivo de pimiento, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 607 p.

**Osuna-García, J.; M. Wall y C. Waddell. 1998.** Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during

fruit ripening of new mexican-type chile (*Capsicum annum* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 5093-5096.

**Pantastico, E. 1979.** Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial Continental, México. 663 p.

**Perdue, D.; L. Neven y S. Drake. 1998.** Cell wall B-galactosidase in ripening 'D' Anjou pears. *Journal of Food Quality* 21, 341-353.

**Pineda, H. 2000.** Evaluación del comportamiento agronómico de diez cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en las condiciones de Roldanillo (Valle del Cauca). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 73 p.

**Popovsky, S. e I. Paran. 2000.** Molecular genetics of the y locus in pepper, its relation to capsanthin-capsorubin synthase and to fruit color. *Theoretical and Applied Genetics* 101 (1-2), 86-89.

**Quintero, L. 2000.** Evaluación de la diversidad genética del género *Capsicum* sp., presente en los departamentos de Vaupés, Guainía y Putumayo por medio de isoenzimas. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 59 p.

**Royal Horticultural Society (HRS) Chart of Colours.** Londres.

**Villachica H. 1996.** Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonía. Tratado de Cooperación Amazónica. Lima.

**Villavicencio L.E.; S.M. Blankenship; D.C. Sanders y W.H. Swallow. 2001.** Ethylene and carbon dioxide concentrations in attached fruits of pepper cultivars during ripening. *Scientia Horticulturae* 91, 17-24.

**Wills R.; B. Mc Glasson; D. Graham y D. Jo. 1998.** Postharvest. An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetable and ornamentals. 4th edition. CAB International. 262 p.