

Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.)

Determination of the maturity stages of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.)

Ingrid Mónica del Pilar Pinzón¹, Gerhard Fischer² y Guillermo Corredor³

Resumen: Según el color de la cáscara se determinaron seis estados de madurez de la gulupa desde totalmente verde (estado 0) hasta sobremaduro (estado 6) para facilitar el reconocimiento del momento óptimo de cosecha. Los frutos fueron tomados de la vereda 'Quebrada Grande y Alta' (altitud 1.900 msnm, temperatura promedio 18°C, precipitación anual 1.718 mm) del municipio Venecia, Cundinamarca. Además se evaluaron características físicas (peso, tamaño, densidad, firmeza, color), químicas (sólidos solubles totales [SST], acidez total titulable [ATT], pH) y el índice de madurez para cada estado del fruto. Se obtuvo una tabla de color para dichos estados y se establecieron cuatro parámetros que pueden ser utilizados como índices de cosecha: color de la cáscara, grados Brix, acidez titulable y pH, ya que presentaron correlaciones significativas con los estados de madurez. Se determinó como momento óptimo de cosecha el estado 3 el cual corresponde a un fruto 40-50% verde y 40-50% púrpura; en este estado el fruto es más denso y alcanza sus máximos pesos frescos de fruto total y de la pulpa. Los parámetros químicos evaluados mostraron que el fruto en el estado 3 contiene la mayor concentración de SST (15,9 °Brix) y además comienza a aumentar el pH (desde 3,0 hasta 3,6 [en estado 6]), mientras disminuye la ATT (13%). El contenido de SST y el porcentaje de acidez mencionados son características deseables que hacen al fruto más atractivo para el consumo, pues su acidez disminuye.

Palabras clave: índice de madurez, color, grados Brix, pH, acidez titulable, peso del fruto.

Abstract: In accordance with the skin color, six stages of maturity of the purple passion fruit were determined, starting from completely green (stage 0) up to overripe (stage 6). The fruits were obtained at the "Quebrada Grande and Alta" district (1,900 m asl, 18°C medium temperature, 1,718 mm annual precipitation) located in the municipality Venecia, Cundinamarca, Colombia. Physical (weight, size, density, rind firmness, and color) and chemical (total soluble solids [TSS], total titratable acidity [TTA], and pH) characteristics and maturity index were evaluated for each of the maturity stages of the fruit. A table of color for these stages was obtained and important parameters that can be used as harvest indexes, since they presented significant interrelations with fruit stages, were established: skin color, Brix grades, titratable acidity, and pH. The maturity stage determined as ideal for harvest was stage 3, which corresponds to a fruit 40-50 % green and 40-50 % purple, since in this phase the fruit was a densest one and reached the maximum of total and pulp fresh weights. The chemical parameters evaluated indicated that the fruit at stage 3 had a highest content of TSS (15,9 °Brix), and also began to increase its pH value from 3,0 to 3,6 (stage 6) and decrease contents TTA (13%). These Brix grades and acidity percentage are desirable characteristics making the fruit more attractive for the consumption, since its acidity decreases.

Key words: maturity index, color, Brix grades, pH, titratable acid, fruit weight.

Fecha de recepción: 22 de marzo de 2006
Aceptado para publicación: 06 de junio de 2007

¹ Ingeniera agrónoma, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: inmonike@gmail.com

² Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: gerrfischer@gmail.com

³ Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: guiar7co@yahoo.es

Introducción

LA BIEN CONOCIDA FRUTA de pasión púrpura o gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) es originaria del sur de Brasil y fue ampliamente distribuida durante el siglo 19 a otros países de América del Sur, el Caribe, Asia, África, India y Australia (Nakasone y Paull, 1998). Según Wenkam (1990) esta fruta es valorada, no sólo por su sabor y aroma, sino además por su contenido nutricional pues es fuente de provitamina A, niacina, riboflavina y ácido ascórbico.

En Colombia, los cultivos de gulupa se encuentran ubicados entre los 1.800 y 2.400 msnm, si bien las mejores producciones se logran alrededor de la primera altitud. Para establecer sus requerimientos edafo-climáticos se hace con referencia al cultivo de la granadilla (*Passiflora ligularis*) y como tal, la mayoría de ellos se aplican en términos prácticos para la gulupa; así se habla de rangos que van desde 1.600 hasta 2.700 msnm, con temperaturas de 16 a 24°C y precipitaciones de 1.500 a 2.500 mm (Pachón *et al.*, 2006).

La fructificación de la gulupa comienza con el estado de diferenciación y crecimiento del fruto, quedando estructuras persistentes como las brácteas y los vestigios del triple pistilo. Durante la diferenciación el pericarpio es blando y de color verde con puntos blanquecinos sobre su superficie, mientras el proceso se expande desde el centro del ovario fecundado hacia el exterior del mismo, y sin que ello pueda apreciarse dentro de las semillas recubiertas de arilo. Durante este estado el fruto alcanza su tamaño definitivo (García, 2002).

Al terminar el estado de diferenciación el fruto entra al estado de llenado, en el cual en el interior del fruto las semillas siguen formándose en el centro del ovario, comenzando a ubicarse hacia el exterior del mismo. Al principio las semillas son de color blanco, luego cambian a negro a medida que avanza el llenado; simultáneamente, el arilo que las rodea se hace más consistente y jugoso, cambiando igualmente de color blanco a verde claro, lo cual coincide con la aparición del verde intenso en el exterior del fruto. Al finalizar este estado el pericarpio cambia de color verde a púrpura, con lo que el fruto entra al estado final de maduración (Hurtado y Nieto, 1985). Wills *et al.* (1998) clasifican la gulupa como un fruto climatérico.

Según Agustí (2004), la maduración es el conjunto de cambios externos e internos, como el sabor y la textura,

que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. En esta fase de desarrollo del fruto cambia la coloración del pericarpio, disminuye el contenido de almidón, aumenta la concentración de azúcares, se reduce el contenido de ácidos, hay pérdida de firmeza y otros cambios físicos y químicos. Superada esta etapa, el fruto pierde firmeza, aumenta su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde el control metabólico e inicia su senescencia.

Según Gallo (1993) existen tres conceptos de madurez que se manejan frecuentemente: ‘madurez de cosecha’, ‘madurez de consumo’ y ‘madurez fisiológica’. Cuando la fruta se encuentra fisiológicamente en su máximo estado de crecimiento y desarrollo, y todas sus partes –especialmente la semilla–, están formadas, maduras y aptas para su reproducción, es el estado que se conoce como madurez fisiológica. La madurez de cosecha o comercial es aquella etapa fisiológica en el desarrollo de la fruta en la cual se desprende del árbol y puede llegar a desarrollar su madurez de consumo; esta última es aquel momento del desarrollo fisiológico del fruto cuando todas las características sensoriales propias de éste, como el sabor, el color, el aroma, la textura y la consistencia, son completas y armónicas.

La madurez de un fruto percedero tiene una marcada influencia sobre la calidad y vida útil en almacenamiento y afecta el manejo poscosecha, el transporte y el mercadeo; además, conociendo las mediciones de madurez, es un punto central de la tecnología de poscosecha (Reid, 2002).

La recolección demasiado temprana (frutos inmaduros), al igual que la recolección tardía (frutos sobremaduros), debe evitarse, no sólo por la calidad del producto obtenido, sino además por los traumatismos que puede causar en la planta. Para el reconocimiento del momento óptimo de recolección se han establecido una serie de factores indicativos denominados ‘índices de madurez’, los cuales deben ser capaces de poner de manifiesto diferencias pequeñas. Así mismo, deben ser sensibles, prácticos, rápidos y, de ser posible, estos índices debe ser cuantificables de manera que pueda expresar el grado de madurez mediante cifras que permitan establecer comparaciones con medidas que hagan otros observadores (Parra y Hernández, 1997). Reid (2002) enfatiza que los parámetros (tamaño, color, firmeza, etc.) deben correlacionar bien con los cambios en los diferentes estados de desarrollo del fruto y propone hacer ensayos de almacenamiento y análisis sensoriales para determinar el valor del índice de madurez que determina la madurez mínima aceptable.

Actualmente en Colombia, la gulupa ocupa el tercer renglón dentro de las frutas exportadas hacia el mercado europeo después del banano y la uchuva. Se cosecha directamente de la planta, prácticamente al ‘tanteo’, pues no se cuenta con parámetros o criterios de madurez, tales como los estados de maduración del fruto, la coloración, el tamaño, el peso, los índices de madurez, entre otros. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue determinar los estados de madurez del fruto, así como algunas características físicas y químicas de los mismos, a fin de contribuir al desarrollo de herramientas prácticas que permitan determinar el momento óptimo de cosecha y, además estimular el desarrollo de futuros estudios relacionados con la recolección y el manejo poscosecha.

Materiales y métodos

Se utilizaron frutos en diferentes estados de madurez de gulupa provenientes de las fincas ‘El Lucerito’ y ‘La Esmeralda’ ubicadas en la vereda ‘Quebrada Grande y Alta’ en el municipio de Venecia, Cundinamarca (1.900

msnm, temperatura promedio de 18 °C, precipitación anual de 1.718 mm). Las plantas se encontraban sembradas a una distancia de 6 m entre plantas y de 3 m entre surcos, en sistema de tutorado de espaldera o mantel, y tenían 12 meses de edad. Los frutos cosechados eran muestras representativas de los frutos encontrados en las fincas; fueron recolectados de los tercios medio y superior de las plantas, mientras que los frutos sobremaduros, fueron tomados directamente del suelo, después de la abscisión. Para la cosecha de los frutos en sus diferentes estados, se realizó una determinación de los grados de madurez por el color de la cáscara (figura 1); y su cambio desde el color verde (estado 0), hasta púrpura intenso (estado 6) como se muestra en la tabla 1. Para evaluar dichas variables se realizó un muestreo donde se tomaron 40 frutos por estado.

Para caracterizar el comportamiento de la gulupa, y consecuentemente determinar los estados de madurez, se determinaron los siguientes parámetros físicos y químicos en el Laboratorio de Fisiología de Cultivos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de



Figura 1. Tabla de color de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) durante 6 estados de madurez, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

Colombia, sede Bogotá (tabla 2): Peso fresco del fruto y sus partes, diámetro y longitud del fruto y grosor de la cáscara, color, firmeza, densidad, acidez titulable, sólidos solubles totales, pH e índice de madurez.

A los colores obtenidos se les asignó un código para facilitar el procesamiento de los datos. Además, se le dio una valoración cualitativa a dichos colores, lo cual se encuentra en las tablas 2 y 3, para la piel y la pulpa.

Para determinar la densidad se tomaron 400 mL de agua en un erlenmeyer, se colocó sobre la balanza y se procedió a tarar. Luego, se sumergió la fruta dentro de una malla plástica con los pesos y se anotaba el peso que indicaba la balanza (que restando el peso de los pesos y la malla dentro del agua, es equivalente al volumen), sin dejar que el conjunto de la malla, los pesos y la fruta, to-

caran el fondo. Una vez esto, y conociendo el peso total del fruto y el peso de la malla junto con los pesos dentro del agua sin tocar el fondo, se obtenía la densidad.

Los datos fueron procesados y analizados con los programas SAS[®] (1999) y Minitab[®] (1996); se realizaron contrastes ortogonales con la prueba Tukey con 95% de confiabilidad, análisis de varianza y, para las variables que arrojaron diferencias estadísticamente significativas, se hizo una comparación de medias y también se determinaron correlaciones entre variables.

Resultados y discusión

Características físicas

Peso fresco del fruto, la cáscara y la pulpa. En la figura 2 y la tabla 3 se puede apreciar que en el estado 0 la fruta ha alcanzado su máximo peso total, lo que equivale a pesos que se acercan a 55,8 g en promedio. Pesos muy cercanos a estos valores se encuentran en los estados 3 y 4, cuyas diferencias no son estadísticamente significativas ya que se presentó un coeficiente de correlación de 0,1. En los estados 1 y 2, se puede observar una pérdida del 8% en el peso total del fruto con respecto al máximo alcanzado. En el estado 5, se aprecia nuevamente la disminución del peso total del fruto ya que la reducción del peso en este estado con respecto a los estados 3 y 4 es estadísticamente significativa. En el estado 6, se observa la pérdida de peso más drástica, ya que la reducción equivale al 10% del peso total alcanzado por el fruto; el comportamiento de esta variable es comparable con lo observado por Fernández (2001) y Carreño y Ospina (1992) en curuba y maracuyá, res-

Tabla 1. Determinación de los estados de madurez de la gulupa según el color de la cáscara.

Estado	Denominación por color	Porcentaje de color
0	Verde	100% verde.
1	Verde y púrpura	90% verde; 10% púrpura (translucida).
2	Verde púrpura	70-80% verde; 20-30% púrpura.
3	Verde púrpura	40-50% verde; 40-50% púrpura.
4	Fruto mas púrpura que verde	85-95% púrpura; 5-15% verde.
5	Púrpura	100% púrpura.
6	Púrpura (sobremaduro)	100% púrpura muy oscuro, presencia de brillo y a veces arrugas.

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de los frutos determinados en cada estado de madurez.

Análisis	Método	Equipo y/o metodología	No. de frutos/ estado
Peso fresco del fruto y sus partes	Pesaje	Balanza Mettler P1200, precisión 0,01 g	40
Diámetro y longitud del fruto y grosor de la cáscara	Calibración	Calibrador K.D.F. Germany, precisión 0,1 cm	40
Color	Tabla de colores	Tabla de tejidos vegetales de Munsell	40
Firmeza	Penetrometría	Penetrómetro Dballaufmfgco Inc., Washington, con escala de 0 a 30 libras, aplicando la fuerza en la parte central del fruto	40
Densidad	Masa (g) / volumen (mL)	Balanza Mettler P1200, precisión 0,01 g; Erlenmeyer 500 mL; pesos de 80,4 g; malla plástica	40
Acidez titulable	Titulación	Titulación con bureta (25 mL) y NaOH 0,1 N registrando el volumen desplazado	12
Sólidos solubles totales	Refractometría	Refractómetro Carl Zeiss Jena, escala de 0 a 100 °Brix	12
pH	Potenciometría	Medidor de pH Beckman 31	12
Índice de madurez	°Brix / % de acidez titulable		12

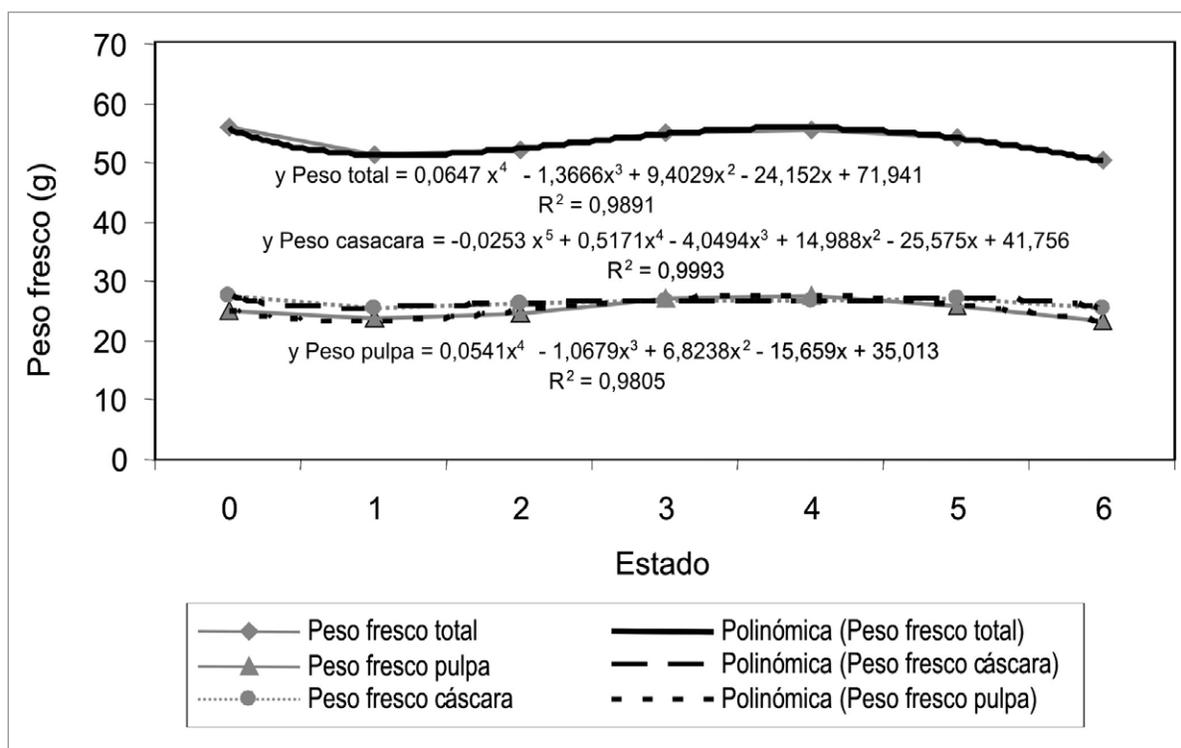


Figura 2. Peso fresco del fruto, de la pulpa y de la cáscara en los diferentes estados de madurez de la gulupa, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

pectivamente, ya que el fruto muestra ganancias en el peso en los primeros estados de desarrollo para luego, en los estados de sobremadurez, presentar reducciones significativas en el mismo. El peso fresco promedio del fruto de la gulupa, encontrado en este estudio (Venecia, Cundinamarca) fue mayor de lo observado por Avendaño y Quevedo (1989) en Soacha (Cundinamarca) bajo invernadero (39,5 g).

El comportamiento del peso en la gulupa se puede explicar por el hecho que las frutas y hortalizas se componen principalmente de agua (80% o más) y durante su crecimiento tienen un abastecimiento abundante de agua a través del sistema radicular de la planta (FAO, 1987), lo cual se vería reflejado en el peso de los estados 0, 3 y 4. La pérdida de peso del estado 6 puede ligarse al hecho que este estado fue tomado después de la abscisión, por lo cual para abastecerse de agua empleada en la transpiración y respiración, utilizaría sus propias reservas.

La reducción del peso en los estados 1 y 2 se puede asociar con las condiciones ambientales en el cultivo en el momento del muestreo, ya que éstas serían responsables del aumento de la transpiración del producto;

además, este ligero descenso de la biomasa del fruto coincide con lo encontrado por Shiomi *et al.* (1996) en gulupa en la cual se redujo el peso total entre 70 y 85 días posterior a la antesis.

El peso de la pulpa y el de la cáscara tienen un comportamiento análogo al del peso total del fruto en los diferentes estados de madurez; sin embargo, vale la pena resaltar que en los estados 3 y 4 el peso de la pulpa alcanza su máximo valor (27,3 g), peso que corresponde al 49,35% del peso total del fruto, lo que concuerda con lo encontrado por CIRAD-FLHOR (2002) quienes observaron que el peso de la pulpa de la gulupa constituye entre 35 y 50% del peso total del fruto. La diferencia en cuanto al peso de la pulpa en los estados 3 y 4 con respecto a los demás estados es estadísticamente significativa, presentándose un coeficiente de correlación de 0,37. Por otro lado, el estado donde la cáscara tiene un porcentaje mayor en relación al peso total del fruto es el estado 0, ya que el peso de la cáscara corresponde al 49,5% del peso total del fruto; dicho comportamiento se puede explicar por el proceso de maduración, puesto que el almidón presente en la cáscara se hidroliza para formar azúcares los cuales son componentes de la pulpa o arilo (Gallo, 1996).

Tabla 3. Valores promedio y porcentaje de las características físicas del fruto de gulupa en los diferentes estados de madurez determinados por color, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

Estado	Peso fresco total CV = 11,6	Peso fresco pulpa CV = 15,1	Peso fresco cáscara CV = 12,9	Diámetro longitudinal CV = 2,3	Diámetro ecuatorial CV = 3,8	Firmeza CV = 7,7	Grosor cáscara CV = 14,3	Densidad CV = 10,9
	(g)	(g)	(g)	(mm)	(mm)	(lb)	(mm)	(g·mL ⁻¹)
0	55,86 (7,00) a	25,10 (4,80) bcd	27,61 (4,34) a	55,70 (2,92) a	53,68 (2,31) a	29,39 (2,09) a	4,40 (0,61) a	0,62 (0,07) b
1	51,51 (5,86) bc	23,59 (2,86) dc	25,64 (3,28) a	54,83 (2,80) b	52,50 (1,82) ab	27,95 (1,89) b	3,79 (0,46) b	0,64 (0,06) ab
2	52,12 (4,66) abc	24,57 (2,80) dc	26,32 (2,37) a	54,70 (4,32) b	52,30 (3,81) ab	26,80 (1,58) bc	3,44 (0,43) c	0,64 (0,05) ab
3	55,26 (5,37) ab	27,26 (3,16) ab	26,67 (2,89) a	54,60 (4,16) b	52,40 (3,65) ab	26,18 (1,73) c	3,38 (0,39) cd	0,68 (0,05) a
4	55,67 (6,49) a	27,72 (4,26) a	26,69 (3,37) a	54,55 (2,82) b	52,05 (2,45) b	25,29(1,85) c	3,03 (0,39) e	0,65 (0,06) ab
5	54,31 (6,98) abc	25,95 (4,16) abc	27,08 (3,67) a	54,12 (2,59) bc	52,11 (2,72) b	25,28 (1,91) c	3,11 (0,58) de	0,65 (0,11) ab
6	50,30 (7,22) c	23,30 (3,99) d	25,46 (3,65) a	53,40 (2,65) c	50,54 (2,89) c	21,85 (2,60) d	3,02 (0,51) e	0,64 (0,05) b

CV = Coeficiente de variación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto seguidos de letras diferentes son estadísticamente diferentes, según prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Diámetros longitudinal y ecuatorial del fruto.

Según Pachón *et al.* (2006), la gulupa produce frutos con un diámetro entre 40 y 80 mm, lo cual concuerda con este estudio, ya que los frutos evaluados presentaron diámetros ecuatoriales entre 50 y 56 mm. Se pudo determinar que a lo largo del proceso de maduración (estado 0 al 6) hay una reducción total de 5% y 6% para el diámetro longitudinal y ecuatorial del fruto, respectivamente (figura 3, tabla 3). Desde el estado 0 al 1 se presenta una reducción para ambos diámetros en forma constante y lineal, para luego mantenerse constante hasta el estado 3; a partir de este estado se puede observar, para el diámetro longitudinal, una reducción leve no significativa hasta el estado 4, mientras que el diámetro ecuatorial se mantiene constante. Reducciones apreciables y significativas ($R^2 = 0,56$) para ambos diámetros se presentan entre los estados 5 y 6 donde tales decrementos son de 1% de la reducción total del diámetro longitudinal y de 3% para el diámetro ecuatorial (figura 3). Este comportamiento descendente en el tamaño del fruto no concuerda con lo observado por Fernández (2001) y Carreño y Ospina (1992) en otras pasifloras como curuba de Castilla y maracuyá, ya que en éstas se presenta aumento del tamaño del fruto y decrementos sólo en los estados finales de desarrollo.

Osterloh *et al.* (1996) describen los factores principales que pueden influir el tamaño del fruto destacando la relación hoja/fruto, el número de frutos por árbol, la edad de la planta, el esquema de fertilización y manejo

del suelo, el estado fitosanitario de la planta, la poda y el raleo de frutos, el clima, el período de tiempo de crecimiento y el estado de madurez a la cosecha. Por lo anterior, es entendible que los resultados de Fonseca y Ospina (2007), respecto de la longitud y el diámetro de la gulupa (57,1 y 54,44 mm), difieren ligeramente con lo encontrado en este estudio.

Grosor de la cáscara. El grosor de la cáscara de la gulupa varía entre 4,4 mm y 3,0 mm en sus diferentes estados de madurez (figura 4, tabla 3); dichos valores no concuerdan con los reportados por Nakasone y Paull (1998); ya que ellos encontraron que el grosor de la cáscara de la gulupa varía entre 3 y 6 mm. Esta diferencia en los resultados podría atribuirse a las condiciones ambientales y al manejo agronómico que se le dio al cultivo para cada ensayo. El grosor de la cáscara de la gulupa disminuye del 22% entre los estados 0 y 2, mientras la reducción observada a partir del estado 4 hasta el 6 es del 2%, diferencia no significativa. El decremento del grosor de la cáscara a través de los estados de madurez de la gulupa podría ser consecuencia de la hidrólisis del almidón en el proceso de maduración (Gallo, 1996).

Firmeza de la cáscara. La maduración de los frutos, en muchos casos, es acompañada por su ablandamiento (Reid, 2002). La degradación de carbohidratos poliméricos, especialmente de la pectina y celulosa, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen a las células unidas a las otras, siendo las causas que pro-

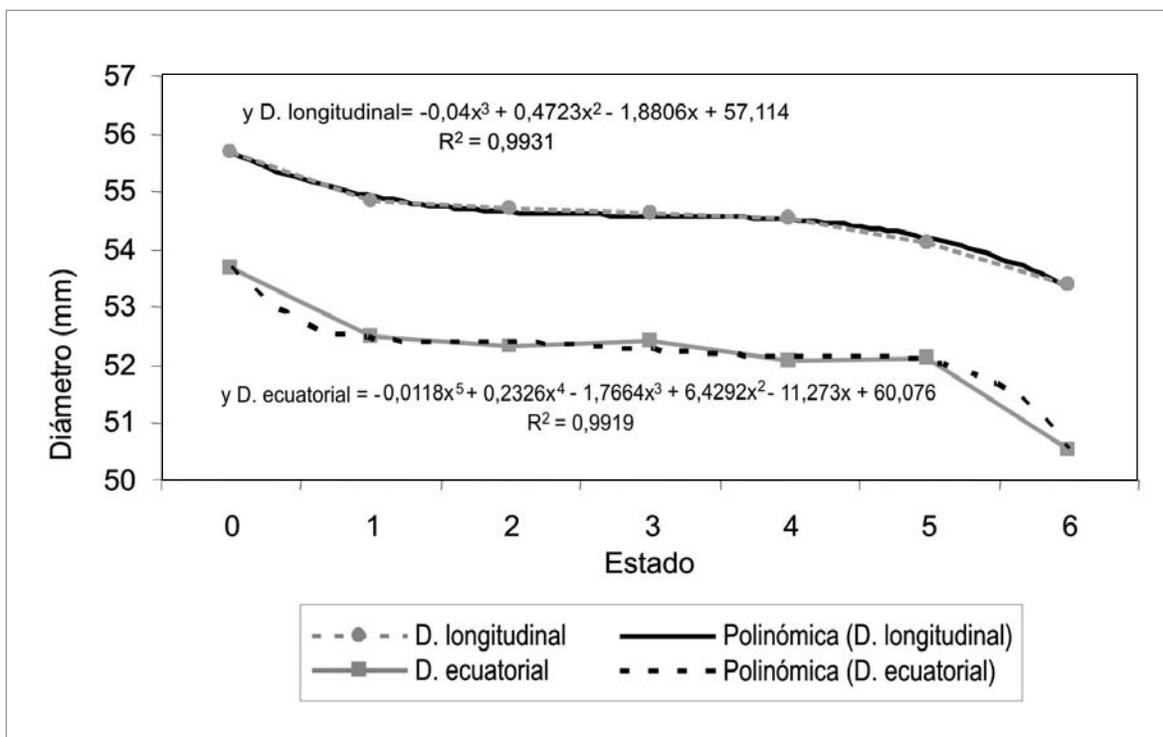


Figura 3. Diámetros longitudinal y ecuatorial del fruto en los diferentes estados de madurez de la gulupa, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

vocan el ablandamiento (Gallo, 1996). En las primeras etapas de maduración del fruto su textura y consistencia son óptimas; durante la maduración la sustancia adherente de las células, la pectina, va degradándose junto con las sustancias pécticas, lo cual altera la textura y la consistencia del fruto (Osterloh *et al.*, 1996). En la maduración se expresan muchas enzimas relacionadas con la pared celular que modifican la plasticidad de la pared (Öpik y Rolfe, 2005).

La firmeza de la cáscara de la gulupa comienza a disminuir de una forma muy lenta; entre los estados 0 y 3 ya pierde un 11% del valor inicial (figura 4, tabla 3). Los valores encontrados para los estados del 3 al 5, no se presentan como significativos en cuanto a la pérdida de firmeza, de este modo se puede observar que la firmeza entre estos estados se mantiene. A partir del estado 5, se puede determinar una pérdida de firmeza constante y progresiva, ya que para el estado 6 se cuenta con una pérdida de firmeza del 12% desde el estado 5, lo que equivale a una resistencia de 21,85 libras de presión del penetrómetro. El comportamiento descendente de esta variable se compara con lo observado por Fernández (2001) en la curuba; sin embargo, se debe resaltar que la firmeza de la cáscara de la gulupa es mayor comparada con aquella fruta.

La reducción de la firmeza a través de los estados de madurez de la gulupa está relacionada con el grosor de la cáscara, ya que se encuentra una correlación significativa entre estas variables con un coeficiente de correlación de 0,36. Osterloh *et al.* (1996) atribuyen una disminución elevada de la firmeza del fruto a un metabolismo alto y una maduración acelerada del mismo; según los mismos autores, este comportamiento se presenta especialmente cuando la acumulación del calcio en el fruto es insuficiente y se trata de frutos muy grandes.

Color. El cambio color es la característica más notoria en muchas frutas durante su maduración, y por ello se utiliza como criterio para definir la madurez de una fruta (Wills *et al.*, 1998; Reid, 2002). La transformación más importante es la degradación del color verde, la cual está asociada con la síntesis o desenmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo (carotenoides) y el rojo-morado (antocianinas) (Kays, 2004).

En la tabla 4 se puede apreciar la degradación de la clorofila desde el estado 0 al 6, ya que el fruto cambia de color verde a púrpura. También se puede observar la predominancia de algunos colores que se refleja en la frecuencia de éstos en correlación con los diferentes

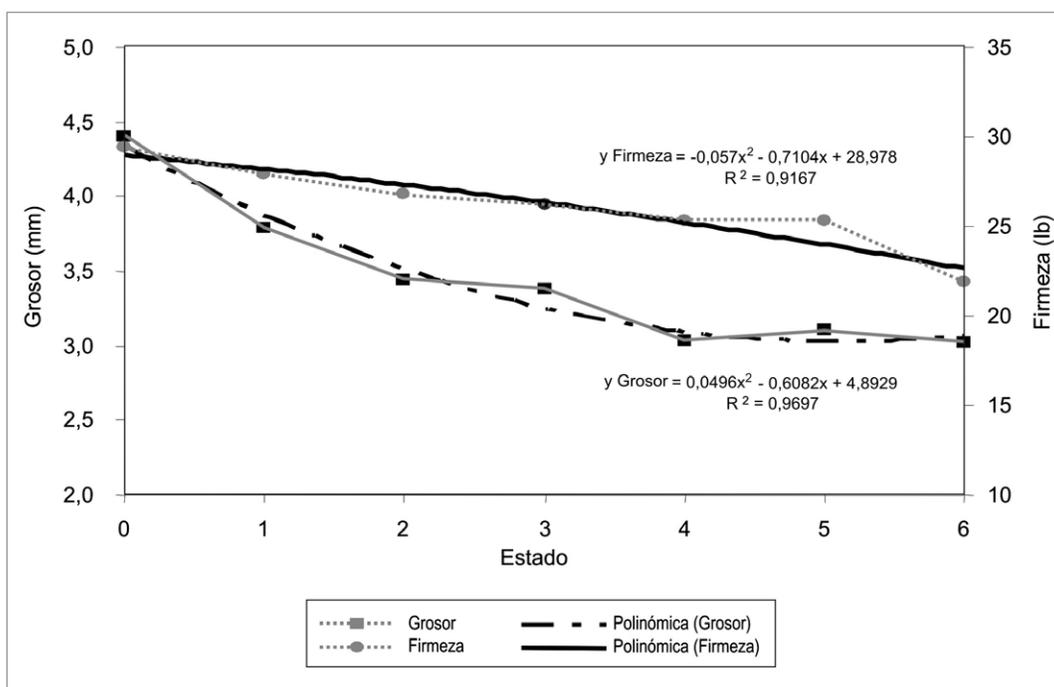


Figura 4. Grosor y firmeza de la cáscara en los diferentes estados de madurez de la gulupa, desde totalmente verde (0) hasta sobremadura (6).

Tabla 4. Color y codificación de la cáscara de los frutos de gulupa en diferentes estados de madurez, según la clasificación de la tabla de tejidos de Munsell. Se elaboró una valoración cualitativa de dichos colores y la frecuencia en porcentaje de los mismos.

Estado	Color	Descripción Munsell	Cualitativo	Frecuencia (%)
0	1	5GY 7/6	Verde medio	55,0
0	2	5GY 7/8	Verde medio—claro	22,5
0	3	7,5GY 7/6	Verde medio	5,0
0	4	7,5Gy 7/4	Verde medio, pálido	12,5
0	5	2,5GY7/2	Verde grisáceo claro	2,5
0	6	7,5GY 6/4	Verde oscuro pálido	2,5
1	1	7,5GY 6/4	Verde oscuro pálido	10,0
1	2	7,5 GY8/4; 5YR6/2	Verde esmeralda muy claro (90-95%); púrpura (5-10%)	25,0
1	3	7,5 GY8/6; 5YR6/2	Verde esmeralda pálido (90-95%); púrpura (5-10%)	17,5
1	4	5GY7/6; 5YR 6/2	Verde medio (90-95%); púrpura (5-10%)	45,0
1	5	7,5 GY7/6; 5YR6/2	Verde medio (90-95); púrpura (5-10%)	2,5
2	1	7,5 GY 7/2; 10R 6/2	Verde claro y pálido; púrpura claro	2,5
2	2	5 GY 6/8; 5R 6/2	Verde medio; púrpura claro algo translucido	35,0
2	3	7,5 GY 7/6; 10R 5/2	Verde medio; púrpura medio no translucido	50,0
2	4	2,5 GY 6/4; 5R 5/2	Verde oscuro color tierra; púrpura rojizo oscuro	12,5
3	1	7,5 GY 7/4; 10R 5/2	Verde claro y pálido; púrpura medio no translucido	35,0
3	2	5GY 6/4; 5R 5/2	Verde medio; púrpura medio intenso	62,5
3	3	5GY 6/4; 2,5R 4/2	Púrpura intenso no translucido; verde medio	2,5
4	1	5R 6/2; 5GY 7/4	Púrpura claro translucido; verde medio	60,0
4	2	5R 4/2; 5Gy7/4	Púrpura rojizo oscuro; verde medio	27,5
4	3	7,5 YR 5/2; 5GY 7/4	Púrpura oscuro; verde medio	12,5
5	1	2,5R 4/4;	Púrpura rojizo oscuro	62,5
5	2	7,5 YR 5/2	Púrpura oscura	27,5
5	3	5R 3/2	Púrpura oscura muy intenso	10,0
6	1	2,5R 5/2	Púrpura oscura	25,0
6	2	5R 3/2	Púrpura muy oscuro intenso (brillo)	75,0

Tabla 5. Color y codificación de la pulpa de los frutos de gulupa en diferentes estados de madurez, según la clasificación de la tabla de tejidos Munsell. Se elaboró una valoración cualitativa de estos colores.

Color	Descripción Munsell	Cualitativo	Frecuencia
1	2,5Y 8/8	Amarillo muy claro, crema	116
2	5Y 8/8	Amarillo – verdoso	17
3	5Y 8/10	Amarillo medio	14
4	2,5Y 8/10	Amarillo medio a oscuro intenso	26
5	2,5Y7/8	Amarillo medio hacia naranja	63
6	2,5Y 7/10	Naranja intenso	42

estados. Así, en el estado 0 es el verde medio; en el 1, el verde medio y púrpura; en el 2, el verde medio y púrpura medio, no traslúcido; en el 3, el verde medio, púrpura medio intenso; en el 4, el púrpura claro traslucido, verde medio; en el 5, el púrpura rojizo oscuro; y en el 6, el púrpura muy oscuro, intenso (brillo) de mayor ocurrencia en la maduración del fruto de la gulupa. Shiomi *et al.* (1996) observaron en Kenia (a 1.525 msnm) que cuando la gulupa cambió de verde a púrpura (70 a 80 días después a la antesis) comenzó la producción autocatalítica del etileno, llegando a la madurez fisiológica; solamente en frutos que fueron cosechados a partir de los 80 días posterior a la antesis

el color llegó hasta púrpura completamente. Arjona y Matta (1991) reportaron que en frutos en los cuales el desarrollo del color fue menor del 75% de la superficie, no fue aceptado por los consumidores.

Con respecto a la pulpa se pueden observar seis colores (tabla 5), donde los colores uno, cuatro, cinco y seis son los que presentan mayor frecuencia, mientras los valores de frecuencia para los colores 2 y 3 no son significativos. De este modo, se pueden determinar cuatro estados de madurez en la pulpa de acuerdo al cambio de color: se torna más intenso a medida que aumenta el estado de madurez, desde amarillo muy claro-crema hasta naranja intenso.

Densidad del fruto. La densidad del fruto (también denominada ‘masa específica’ o ‘peso específico’) depende de su contenido de la materia seca, el agua y aire dentro del fruto (Osterloh *et al.*, 1996).

Del estado 0 al 1 se puede observar un incremento constante de la densidad del fruto, la cual aumenta de 0,62 a 0,65 g · mL⁻¹ (figura 5, tabla 3). Este aumento se puede explicar por el comportamiento del peso, ya que en estos estados el fruto ha alcanzado su máximo peso (figura 1); así mismo, los diámetros longitudinal y ecuatorial disminuyen el 10 y el 9,5%, respectivamente (figura 2).

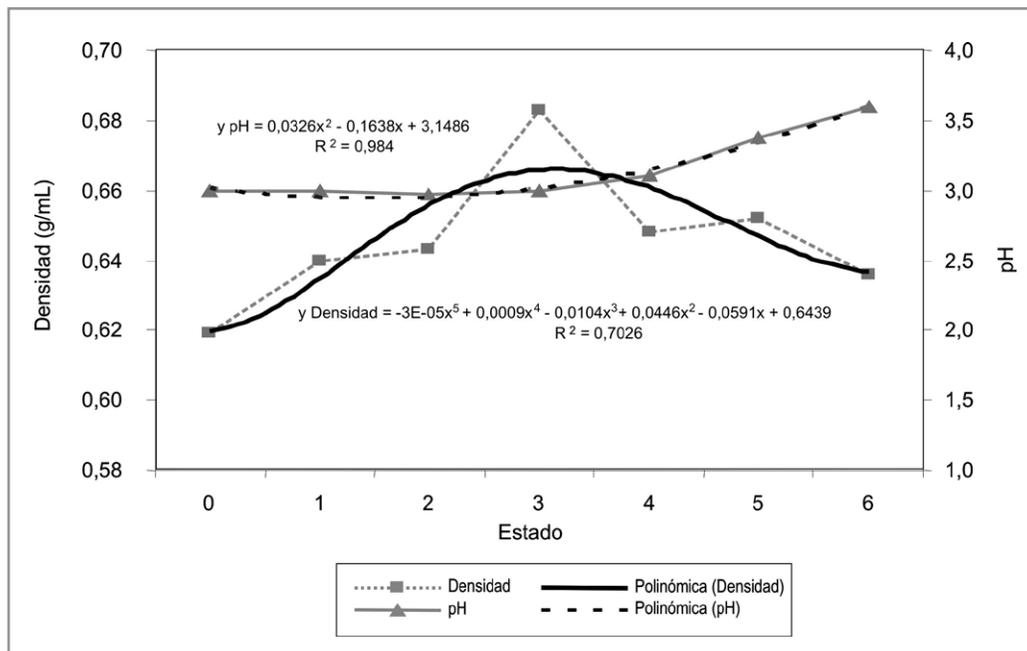


Figura 5. Densidad y pH en los diferentes estados de madurez de la gulupa, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

Se puede observar que en el estado 3 es donde el fruto es más denso, valor alcanzado desde el estado 2 de una forma acelerada y constante, y que se explica por la ganancia de peso en este estado, ya que se encontró una correlación significativa de 57% entre las variables densidad y peso fresco en este punto. De igual forma, se muestra una reducción progresiva y constante de esta variable entre los estados 3 y 4, donde el peso se ha mantenido, mientras los diámetros del fruto han aumentado. El aumento de la densidad de la gulupa entre los estados 4 y 5 no es significativo, mientras que el decremento de la densidad entre los estados 5 y 6, el cual es constante, se debe a la pérdida de peso (figura 2).

La disminución de la densidad a partir del estado 3, en el cual se estima que ocurre la madurez fisiológica de la gulupa, se debe probablemente a la respiración de la sustancia orgánica, la pérdida del agua por transpiración y la ampliación del espacio vacío en el fruto debido a la desintegración de los tejidos (Osterloh *et al.*, 1996), como debería ocurrir en un fruto climatérico (Wills *et al.*, 1998). Una correlación positiva entre la densidad del fruto y la calidad procesada del tomate reporta Kays (2004).

Características químicas

Valor pH. Se encontraron valores de pH entre 2,99 y 3,60 en los estados de madurez de la gulupa lo que muestra un comportamiento ascendente para esta variable (figura 5, tabla 6). En los frutos, más del 90% del

Tabla 6. Valores promedio y porcentaje de las características químicas del fruto de la gulupa en los diferentes estados de madurez determinados por color, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

Estado	pH CV = 3,4	SST CV = 4,8	ATT CV = 11,0	IM CV = 13,4
	(%)	(%)	(%)	SST/ATT
0	2,99 (0,08) c	11,89 (1,13) d	5,73 (0,01) a	2,08 (0,27) d
1	2,99 (0,05) c	13,79 (1,07) c	5,14 (0,01) ab	2,68 (0,34) c
2	2,97 (0,04) c	15,17 (0,24) b	4,99 (0,01) b	3,04 (0,15) bc
3	3,00 (0,01) c	15,90 (0,44) ab	4,65 (0,01) b	3,42 (0,27) b
4	3,10 (0,04) c	15,92 (0,67) ab	3,97 (0,01) c	4,01 (0,38) a
5	3,37 (0,20) b	16,21 (0,32) a	3,92 (0,01) c	4,14 (0,87) a
6	3,60 (0,12) a	16,14 (0,60) a	3,72 (0,01) c	4,34 (0,46) a

CV: Coeficiente de variación; SST: Sólidos solubles totales; ATT: Acidez total titulable; IM: Índice de madurez.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto seguidos de letras diferentes son estadísticamente diferentes, según prueba de Tukey ($P < 0,05$).

volumen celular lo ocupa la vacuola, la cual usualmente es muy ácida, con un pH menor que 5 (Nanos y Kader, 1993), afirmación que coincide con los resultados encontrados en los frutos de gulupa.

Si bien, durante los primeros tres estados el pH se mantuvo constante, entre los estados 3 y 6 hubo un aumento del pH de 3,0 a 3,6. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Motta y Otero (1984) quienes mostraron que la gulupa es un fruto de menor acidez con respecto al maracuyá, ya que en este último el pH oscila entre 2,5 y 3,0.

Se encontró una correlación negativa altamente significativa del pH con la variable acidez titulable presentando un R^2 de 0,64; Pantástico (1981) afirma que el aumento del pH ocurre debido a la reducción de la acidez titulable total (ATT) lo que se confirma en este estudio (figura 6). La correlación que se presentó entre el pH y el índice de madurez es positiva y altamente significativa ($R^2 = 0,68$); así mismo, la correlación entre el pH y los grados Brix mostró una correlación significativa ($R^2 = 0,46$).

Sólidos solubles totales (SST). Uno de los aspectos que refleja la madurez es el comportamiento de los SST o grados Brix. El contenido de SST está constituido por 80 a 95% de azúcares y la medida de SST se encuentra asociada con los azúcares disueltos en el jugo celular (Osterloh *et al.*, 1996); estos autores afirman que la cantidad de azúcares en el fruto depende principalmente de la variedad, del rendimiento asimilatorio de las hojas, de la relación hoja/fruto, de las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto, del estado de desarrollo y de la madurez.

La acumulación de los azúcares se asocia con el desarrollo de la calidad óptima para el consumo; aunque los azúcares pueden ser transportados al fruto por la savia, también son aportados por el desdoblamiento de las reservas de almidón de los frutos (Wills *et al.*, 1998). Fischer y Martínez (1999) afirman que cuando el fruto de la uchuva presenta su contenido de azúcares más alto ha alcanzado su madurez fisiológica, lo cual coincide con lo hallado para el estado 3 de la gulupa.

El contenido de SST mostró un aumento constante entre los estados 0 al 3 al cabo del cual alcanzó su máximo valor (15,91 °Brix) (figura 6, tabla 6); los incrementos de esta variable no son significativos a partir de este estado en adelante. El comportamiento ascendente del conteni-

do de SST concuerda con lo reportado por Shiomi *et al.* (1996) en gulupa y lo observado por Ceballos *et al.* (2002) y Fernández (2001) para la curuba, diferenciándose la gulupa de ésta última por un mayor contenido de grados Brix en el último estado de madurez. El contenido de SST es similar a lo encontrado por Avendaño y Quevedo (1989) con 15,4 °Brix; sin embargo, es ligeramente menor que lo medido por Fonseca y Ospina (2007) en gulupa con madurez comercial (16,5).

Kays (2004) explica que cuando el fruto está madurando en la planta los azúcares incrementan su concentración por la translocación de sacarosa desde las hojas, esto ocurre en la mayoría de las especies; sin embargo, también existe el reciclaje del sustrato respiratorio desde el carbono almacenado en el fruto.

En general, se encontraron correlaciones positivamente significativas del contenido de sólidos solubles con las variables acidez titulable, pH e índice de madurez, presentando coeficientes de correlación de 0,63, 0,59 y 0,76 respectivamente.

Acidez total titulable (ATT). Los ácidos orgánicos se usan durante la respiración del fruto, siendo varios

de estos ácidos componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos tricarbónicos (Kays, 2004). Se observó una disminución de la acidez durante la maduración de muchos frutos (Guzmán y Segura, 1989) lo que indica una alta tasa metabólica en esta fase (Osterloh *et al.*, 1996). Aparte de su importancia bioquímica, los ácidos orgánicos contribuyen en gran parte al sabor, en una relación típica entre azúcares y ácidos en las diferentes especies de frutales (Wills *et al.*, 1998). Los precursores de los ácidos orgánicos, en su mayoría, son otros ácidos orgánicos o azúcares (Kays, 2004).

En la ATT, medida como porcentaje de ácido cítrico, se puede observar un comportamiento descendente desde el estado 0 al 6 (figura 6, tabla 4). Las reducciones de la ATT entre los estados 0 y 1, 2 y 3, entre 3 y 4 y entre 5 y 6 fueron significativas. Este comportamiento descendente del porcentaje del ácido cítrico a lo largo del proceso de maduración de la gulupa se compara con lo observado en la curuba por Fernández (2001) y lo descrito por Shiomi *et al.* (1996) en la gulupa, en la cual la ATT decreció a partir de 60 días después de la antesis. La ATT encontrada en los estados 4 y 5 (3,97 y 3,92, respectivamente) coincide con la reportada por Fonseca y Ospina (2007) con 3,90 en gulupa comerciable.

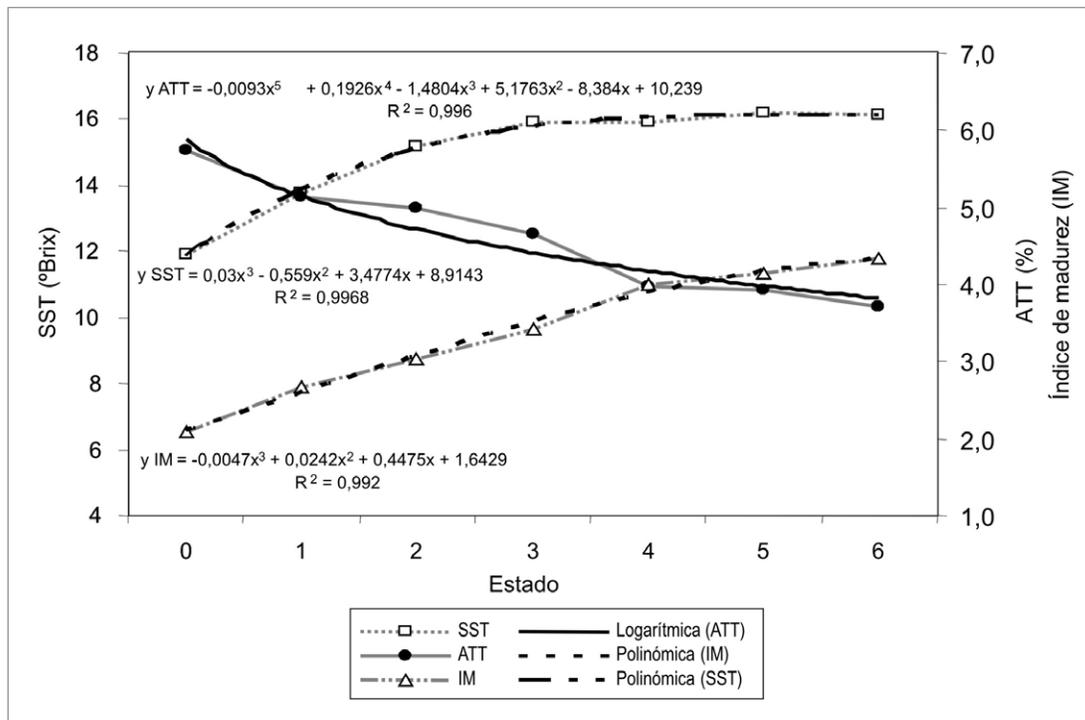


Figura 6. Sólidos solubles totales (SST o grados Brix), acidez total titulable (ATT) e índice de madurez (IM = SST/ATT) en los diferentes estados de madurez de la gulupa, desde totalmente verde (0) hasta sobremaduro (6).

Se presentaron correlaciones negativas altamente significativas entre esta variable y el pH y con grados Brix, (R^2 de 0,64 y 0,46, respectivamente); sin embargo, la correlación más alta se presentó con el índice de madurez (IM), ya que el R^2 fue de 0,93.

Índice de madurez. A través del proceso de maduración se observa un aumento del índice o relación de madurez (IM) de 2,08 a 4,34, desde el estado 0 hasta el 6 (figura 6, tabla 4); este comportamiento ascendente se compara con lo reportado por Gallo (1993) para el maracuyá. En los frutos climatéricos el aumento del IM posiblemente ocurre cuando alcanzan la tasa respiratoria máxima y desdoblan rápidamente sus reservas (ácidos orgánicos) como respuesta al incremento de su metabolismo y, en consecuencia, IM se incrementa (Hernández, 2001). Osterloh *et al.* (1996) afirman la importancia de la relación entre SST y ATT en el sabor del fruto y del jugo, teniendo en cuenta que cuando el fruto tiene un contenido alto de azúcares, el nivel de los ácidos debe ser suficientemente elevado para satisfacer el gusto del consumidor.

Las correlaciones encontradas entre el IM, los grados Brix y el pH son altamente significativas ya que presentaron un R^2 de 0,72 y 0,68 respectivamente, mientras que se presenta una correlación negativa con la ATT con un R^2 de 0,93.

Conclusiones

Según los parámetros físicos y químicos evaluados, se establece como momento óptimo de cosecha de la gulupa el estado 3, el cual corresponde a un fruto 40-50% verde medio y 40-50% púrpura algo traslúcido; así mismo, se halló que en este estado el fruto es más denso y alcanza su máximo peso total además del máximo peso de la pulpa.

En cuanto a los parámetros químicos, éstos mostraron que en el estado 3 es donde el fruto alcanza el mayor contenido de sólidos solubles totales y, además, comienza a aumentar el pH y a disminuir la acidez total titulable.

Agradecimientos

A C.I. Frutas Comerciales S.A. por su apoyo financiero para la realización de este estudio; a Gilberto Guauta y Javier Ibáñez, propietarios de las fincas 'La Esmeralda' y 'El Lucerito', por facilitar la fruta para el desarrollo de esta investigación.

Literatura citada

- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 493 p.
- Arjona, H.E. y F.B. Matta. 1991. Postharvest quality of passion fruit as influenced by harvest time and ethylene treatment. *HortScience* 26, 1.297-1.298.
- Avendaño, J.C. y E. Quevedo. 1989. Análisis de la floración y fructificación bajo tres sistemas de soporte en la gulupa. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 98 p.
- Carreño, M. y N. Ospina. 1992. Bases para un pronóstico de cosecha en maracuyá (*Passiflora edulis* L.). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 79 p.
- Ceballos, M., C. Aristizabal, A. Téllez y S. Márquez. 2002. Estudio comparativo sobre el comportamiento fisiológico de la maduración de los frutos y la evaluación fisicoquímica y poscosecha, en cuatro variedades de curuba cultivadas en la granja 'Tesorito' de la Universidad de Caldas. Memorias IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frío Moderado. Medellín. pp. 93-95.
- CIRAD-FLHOR. 2000. Promesas de las passifloras. Geo Coppens d'Eeckenbrugge, Boulevard de la Lironde, TA50/PS4, Montpellier, Francia. En: <http://cirad-flhor.com/Geocoppens>; consulta: octubre 2005.
- FAO. 1987. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. En: www.fao.org/docrep/x5055S/x5055S00.htm#Contents; consulta: diciembre 2005.
- Fernández, M.M. 2001. Determinación de índices de cosecha en el cultivo de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) en la región de Nuevo Colón, Boyacá. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 93 p.
- Fischer, G. y O. Martínez. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agron. Colomb.* 16 (1-3), 35-39.
- Fonseca, D.I. y N.M. Ospina. 2007. Relación semilla/fruto en dos passifloras: granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) y gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gallo, F. 1993. Índice de madurez para piña cayena lisa, guanábana, pitaya amarilla y maracuyá. *Agro-Desarrollo* 4 (1-2), 194-200.
- Gallo, F. 1996. Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Convenio SENA - NRI, Armenia. pp. 10-41.
- García, M. 2002. El cultivo del maracuyá. En: www.Centa.gob.sv/html/ciencia/frutales/maracuyá; consulta: junio 2006.
- Guzmán, N.R. y E. Segura. 1989. Tecnología de frutas y hortalizas. Editorial Unisur, Bogotá. 200 p.
- Hernández, M.S. 2001. Conservación del fruto de arazá (*Eugenia stipitata*) durante la poscosecha mediante la aplicación de diferentes técnicas. Tesis de doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Hurtado, J. y A. Nieto. 1985. Adaptación fisiológica y producción de una *Passifloraceae* silvestre; *Passiflora malliformis* L. en un piso térmico cálido. Trabajo de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Kays, S. 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens, Georgia. 568 p.
- Minitab. 1996. Reference manual. Pearson Education, USA.

- Motta, G. y L. Otero. 1984. El cultivo del maracuyá. *Revista Esso Agrícola* 16(1), 18-24.
- Nakasone, H. y R.E. Paull. 1998. Tropical fruits. CAB International, Wallington, U.K. pp. 270-291.
- Nanos, G.D. y A.A. Kader. 1993. Low O₂-induced changes in pH and energy charge in pear fruit tissue. *Postharvest Biol. Technol.* 3, 285-291.
- Öpik, H. y S. Rolfe. 2005. The physiology of flowering plants. 4th ed. Cambridge University Press, Cambridge. 392 p.
- Osterloh, A., G. Ebert, W.H. Held, H. Schulz y E. Urban. 1996. Lagerung von Obst und Südfrüchten. Verlag Ulmer, Stuttgart. 253 p.
- Pachón, A., A. Montaña y G. Fischer. 2006. Efecto del empaque, encerado y temperatura sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) en postcosecha. pp. 72-78. En: Salamanca, G. (ed.). *Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario*. Editora Guadalupe, Bogotá. 350 p.
- Pantástico, E.R. 1981. Fisiología de post-recolección. Vol. 1. Ed. Limusa S.A., México. pp. 812-815.
- Parra, A. y J.E. Hernández. 1997. Fisiología poscosecha de frutas y hortalizas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 5-32.
- Reid, M.S. 2002. Maturation and maturity indices. pp. 55-62. En: Kader, A.A. (ed.) *Postharvest technology of horticultural crops*. 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California. 535 p.
- SAS. 1999. *SAS/STAT User's Guide*, Vers. 8. SAS Publishing, Cary, NC.
- Shiomi, S., L.S. Wanocho y S.G. Agong. 1996. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. *Postharvest Biol. Technol.* 7, 161-170.
- Wenkam, N.S. 1990. Food of Hawaii and the Pacific Basin. Fruits and fruit products. Raw, processed and prepared. Vol. 4. Composition. Res. Ext. Serv. No. 110, Hawaii Agr. Exp. Sta., College Trop. Agr. Human Resources, University of Hawaii, Honolulu.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 1998. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. CAB International, Nueva York. 262 p.