



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Germán Franco

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2013

Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Germán Franco

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ciencias Agrarias

Director

José Régulo Cartagena Valenzuela

Comité asesor

Guillermo Antonio Correa Londoño
Mario Lobo Arias
Benjamín Alberto Rojano

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2013

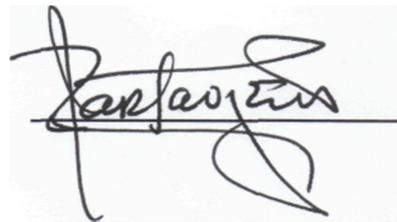
Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Por

Germán Franco

Director

José Régulo Cartagena Valenzuela

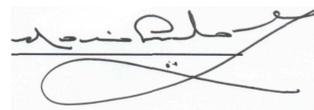


Comité Asesor

Guillermo Antonio Correa Londoño



Mario Lobo Arias



Benjamín A Rojano





*A mi esposa Adielá y a mis hijos Laura y Juan Felipe
por la paciencia.*

Agradecimientos

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica por la oportunidad.

Posgrado en Ciencias Agrarias por su apoyo en aspectos analíticos.

José Régulo Cartegena Valenzuela. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Director de tesis, por su acertada orientación.

Guillermo Correa Londoño. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por su asesoría.

Benjamín Alberto Rojano. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Laboratorio Ciencia de los Alimentos, por el uso de los equipos necesarios para el trabajo y asesoría.

Mario Lobo Arias. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, e Investigador Corpoica C. I. La Selva, por su asesoría.

Ana María Piedrahíta Correa. Ingeniera Química, programa jóvenes investigadores COLCIENCIAS, por el apoyo en el Laboratorio Ciencia de los Alimentos.

Árlex González Herrera. Asistente de Investigación, Corpoica C. I. La Selva, por su apoyo en labores de campo.

Martha Londoño Zuluaga. Investigadora Corpoica C. I. La Selva, por su apoyo en aspectos analíticos.

María Vargas. Asistente de Investigación Corpoica, por su apoyo en el laboratorio.

Resumen

Los “frutales alto-andinos”, se consideran como frutos agradables, generalmente se comercializan y consumen en fresco, tienen corta vida en poscosecha debido a su alta actividad metabólica, lo que afecta su calidad y dificulta el transporte y comercialización en forma natural. El género *Passiflora* cuenta con gran número de especies comestibles, de las cuales pocas han sido estudiadas, la gulupa (*Passiflora edulis* Sims), es una de ellas. En Colombia ha adquirido importancia nacional, con un consumo aparente de 4.000 t en el año 2011; e internacional, por el volumen en sus exportaciones que se incrementaron 123% entre los años 2008 y 2012. El conocimiento sobre las características físicas, químicas, fisiológicas y nutraceuticas de la gulupa es limitado, hecho que favorece las pérdidas, que se estiman en 30%; razón la cual, el estudio de la fisiología en precosecha y en poscosecha de gulupa, es necesario para el diseño de recomendaciones que permitan un correcto manejo en aspectos relacionados con las propiedades que se quieren conservar, aprovechar y explotar a nivel comercial. El objetivo de esta investigación fue contribuir a la generación de conocimiento para el manejo eficiente de la cosecha y la poscosecha, útil en el aprovechamiento de las propiedades como alimento nutraceutico y la construcción de estándares de calidad, en procura de ofrecer la mayor calidad integral de los frutos. Los resultados obtenidos, permiten expresar: el crecimiento y desarrollo del fruto, que fue posible describirlo mediante el modelo Monomolecular - Weber, para los componentes del peso seco y diámetros ecuatorial y polar; ayudan a identificar el momento correcto de la recolección hacia los 85 – 90 días después de floración; proporcionan elementos para la planeación de las labores de cosecha; sirven, para predecir la evolución del fruto y diseñar alternativas de manejo. Además, se constató que la gulupa tiene un sabor intermedio entre el maracuyá y la granadilla, que la fructosa y el ácido cítrico, son predominantes en el jugo y que la actividad enzimática después de la recolección, garantiza la producción de los metabolitos involucrados en la adecuada expresión de la calidad del fruto. Por otra parte, con base en la evolución fisicoquímica del fruto, se estableció que la mejor época para consumo, es hacia los 14 días después de cosechado. Asimismo la medida de la capacidad antioxidante, aportó información útil para considerar al fruto como fuente importante de vitamina C y carotenoides, atributos que contribuyen a posicionarlo en mercados con este tipo de exigencias. El conocimiento obtenido es una referencia de interés, para que los diferentes eslabones de la cadena lo empleen en la construcción de estándares de calidad y normas que ayuden a obtener el máximo provecho del producto.

Palabras clave: Frutales tropicales, crecimiento y desarrollo, propiedades fisicoquímicas, biomoléculas.

Abstract

The "Andean fruits" are considered pleasant fruits, usually consumed and sold as fresh product. They have a short shelf-life because of its high metabolic activity, which affects quality and transportation, and do difficult marketing in natural form. The genus *Passiflora* has a large number of edible species, of which few have been studied, the purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims), is one of them. In Colombia has acquired national importance, with apparent consumption of 4,000 t in 2011, and internationally, by the volume of its exports, which increased 123% between 2008 and 2012. The knowledge about the physical, chemical, physiological and nutraceutical of gulupa is limited, which favors the losses estimated at 30%; thus, the study of physiology in preharvest and postharvest, is necessary to design protocols in aspects related to the properties that must preserve, develop and use at commercial level. The objective of this research was to determine the general physiological behavior in preharvest and postharvest of fruit of gulupa in Colombia, under conditions of lower montane rain forest, to optimize the management of the fruit, in order to preserve the quality and help maintain current market niches and create new distribution channels nationally and internationally. The results obtained allow to express: the growth and development of the fruit, it was possible to describe using the model Monomolecular - Weber, for the components of dry weight, polar and equatorial diameters; also help identify the right time to harvest at 85 to 90 days after flowering; provide elements for planning harvest operations, which serve to predict the evolution of fruits and design management alternatives. Furthermore, it was found that the taste of gulupa is intermediate between passion fruit and *P. ligularis*, that citric acid and fructose are dominant in the juice, and that the enzyme activity after harvest, ensures the production of metabolites involved in the proper expression of the quality of the fruit. Moreover, based on the physicochemical evolution of the fruit, it was established that the best time for consumption is around 14 days after harvest. Also measure the antioxidant capacity, provided useful statement to consider the fruit as an important source of vitamin C and carotenoids, attributes that contribute to position it in markets with these requirements. The knowledge gained is a reference of interest, so that the different links in the chain is entering into the construction of rules and regulations to help get the most out of the product.

Key words: Tropical fruits, growth and development, physicochemical properties, biomolecules.

Contenido

Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIV
Lista de tablas	XVII
Introducción	1
Bibliografía	6
Capítulo 1.....	13
Análisis de crecimiento del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), en las condiciones ecológicas del bosque húmedo montano bajo de Colombia.....	13
1.1 Resumen.....	13
1.2 Abstract	14
1.3 Introducción	14
1.4 Materiales y Métodos	16
1.4.1 Ubicación	16
1.4.2 Material biológico	17
1.4.3 Procedimiento experimental	17
1.5 Resultados y Discusión	18
1.5.1 Peso seco.....	18
1.5.2 Diámetro polar	21
1.5.3 Diámetro ecuatorial	22
1.6 Conclusiones	23
1.7 Bibliografía.....	24
Capítulo 2.....	29
Caracterización fisicoquímica de frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), en precosecha y poscosecha, producidos bajo las condiciones ecológicas del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia	29
2.1 Resumen.....	29
2.2 Abstract	30
2.3 Introducción	31
2.4 Materiales y Métodos.....	36
2.4.1 Ubicación	36
2.4.2 Material biológico	37
2.4.3 Procedimiento experimental	37

2.5 Resultados y discusión.....	40
2.5.1 Forma del fruto.....	40
2.5.2 Espesor de cáscara	41
2.5.3 Peso de la cáscara.....	43
2.5.4 Peso de la pulpa	45
2.5.5 Peso de las semillas	46
2.5.6 pH	47
2.5.7 Sólidos solubles totales.....	48
2.5.8 Acidez titulable.....	50
2.5.9 Índice de madurez.....	52
2.5.10 Firmeza.....	53
2.5.11 Humedad	54
2.5.12 Pérdida fisiológica de peso en poscosecha.....	56
2.5.13 Azúcares.....	56
2.5.16 Ácidos	59
2.6 Conclusiones.....	63
2.7 Bibliografía.....	64
Capítulo 3	71
Actividad enzimática en precosecha y poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), en condiciones del bosque húmedo montano bajo de Colombia.....	71
3.1 Resumen	71
3.2 Abstract.....	72
3.3 Introducción.....	72
3.4 Materiales y Métodos	75
3.4.1 Ubicación	75
3.4.2 Material biológico	75
3.4.3 Procedimiento experimental.....	75
3.5 Resultados y Discusión	78
3.5.1 Actividad específica de la α -amilasa (AA)	78
3.5.2 Actividad específica de la Pectinmetilesterasa (PME)	79
3.5.3 Actividad específica de la Poligalacturonasa (PG)	80
3.5.4 Actividad específica de la Polifenoloxidasas (PFO)	81
3.6 Conclusiones.....	82
3.7 Bibliografía.....	83
Capítulo 4	89
Estimación del contenido de carotenoides en la pulpa de frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) conforme a la variación del color en la cáscara	89
4.1 Resumen	89
4.2 Abstract.....	90
4.3 Introducción.....	91
4.4 Materiales y Métodos	93
4.4.1 Ubicación	93
4.4.2 Material biológico	93
4.4.3 Procedimiento experimental.....	93
4.5 Resultados y Discusión	95
4.5.1 Evolución del color	95
4.5.2 Contenido de Carotenoides.....	97

4.6 Conclusiones	100
4.7 Bibliografía	100
Capítulo 5.....	107
Capacidad antioxidante del jugo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), durante la poscosecha	107
5.1 Resumen.....	107
5.2 Abstract	108
5.3 Introducción	108
5.4 Materiales y Métodos.....	111
5.4.1 Ubicación	111
5.4.2 Material biológico	111
5.4.3 Procedimiento experimental	112
5.5 Resultados y Discusión.....	113
5.5.1 Capacidad antioxidante	113
5.6 Conclusiones	117
5.7 Bibliografía	118

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Tasa de crecimiento relativo en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). ...	19
Figura 1-2: Evolución del peso seco del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo monomolecular-Weber. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.....	20
Figura 1-3: Evolución del diámetro polar del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo monomolecular-Weber. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.	21
Figura 1-4: Evolución del diámetro ecuatorial del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo monomolecular-Weber. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.	23
Figura 2-1: Evolución de la forma del fruto (relación DP/DE), durante el desarrollo del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	41
Figura 2-2: Evolución del espesor de la cáscara durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	42
Figura 2-3: Evolución del espesor de la cáscara en el fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.....	43
Figura 2-4: Evolución de componentes del fruto durante el desarrollo y poscosecha de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	44
Figura 2-5: Evolución del peso de la cáscara de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.....	44
Figura 2-6: Evolución del peso de la pulpa de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.....	46
Figura 2-7: Evolución del pH de la pulpa durante el desarrollo y poscosecha de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.....	47

Figura 2-8: Evolución de los sólidos solubles totales de la pulpa durante el desarrollo y poscosecha de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	49
Figura 2-9: Evolución de los sólidos solubles totales de la pulpa de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.....	50
Figura 2-10: Evolución de la acidez titulable del jugo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), durante el desarrollo y poscosecha. Las barras señalan la desviación estándar.	51
Figura 2-11: Evolución de la acidez titulable del jugo en el fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.....	52
Figura 2-12: Evolución del índice de madurez durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	53
Figura 2-13: Evolución de la firmeza durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	54
Figura 2-14: Evolución del contenido de humedad, durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.....	55
Figura 2-15: Evolución de la pérdida fisiológica de peso en poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras señalan la desviación estándar.	56
Figura 2-16: Cambios en los contenidos de sacarosa en la pulpa del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	57
Figura 2-17: Cambios en los contenidos de glucosa en la pulpa, de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	58
Figura 2-18: Cambios en los contenidos de fructosa en la pulpa del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	59
Figura 2-19: Cambios en los contenidos de ácido cítrico en la pulpa del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	60
Figura 2-20: Cambios en los contenidos de ácido málico en la pulpa del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	61
Figura 2-21: Cambios en los contenidos de ácido oxálico en la pulpa del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	62
Figura 2-22: Cambios en los contenidos de ácido ascórbico en la pulpa del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	63
Figura 3-1: Actividad específica del α -amilasa (AA) en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	78
Figura 3-2: Evolución de sólidos solubles en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims)..	79
Figura 3-3: Actividad específica de la pectinmetilesterasa (PME) en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	80
Figura 3-4: Actividad específica de la poligalacturonasa (PGA) en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	81
Figura 3-5: Actividad específica de la polifenoloxidasasa (PFO) en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	82

Figura 4-1: Evolución de la Luminosidad L* y la cromaticidad a* y b* en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras indican la desviación estándar.....	96
Figura 4-2: Evolución del índice a*/b* en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims). Las barras indican la desviación estándar.	97
Figura 4-3: Evolución del contenido de carotenoides en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	98
Figura 4-4: Evolución del contenido de carotenoides en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) con relación a la edad. La línea azul representa la función estimada del modelo polinomial de tercer orden; las líneas rojas señalan los límites de confianza del 95% para los valores esperados; los rectángulos indican los puntos observados.	99
Figura 5-1: Variación de la capacidad antioxidante total del jugo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), por ABTS•+.....	114
Figura 5-2: Variación de la capacidad antioxidante total del jugo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), por determinada por FRAP.	115
Figura 5-3: Variación del contenido de ácido ascórbico en jugo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	116
Figura 5-4: Variación de los carotenoides totales en jugo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	117

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Estimadores de los parámetros del modelo monomolecular-Weber $Y = a(1 - e^{b-ct})$ y estadísticos de bondad de ajuste empleados para el análisis del crecimiento de frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).....	20
Tabla 1-2: Media y desviación estándar de variables físicas en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), a través del tiempo.	22
Tabla 2-1: Caracterización química de maracuyá <i>Passiflora edulis</i> Sims.....	33
Tabla 2-2: Estimadores de los parámetros del modelo Korsun $Y = e^{a+b \ln(DDF) - c[\ln(DDF)]^2}$ y estadísticos de bondad de ajuste, empleados para el análisis del crecimiento de frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims).	42
Tabla 2-3: Comparación de medias para componentes del fruto de gulupa (<i>Pasiflora edulis</i> Sims), con edades equivalentes, madurados en la planta y en poscosecha.	45
Tabla 2-4: Comparación de medias para variables químicas en jugo de frutos de gulupa (<i>Pasiflora edulis</i> Sims) madurados en la planta y en poscosecha con edades equivalentes.	48
Tabla 2-5: Comparación de medias para el contenido de humedad en frutos de gulupa (<i>Pasiflora edulis</i> Sims), con edades equivalentes madurados en la planta y en poscosecha.....	55
Tabla 4-1: Modelos para estimar el contenido de carotenoides en frutos de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims), con base en las coordenadas de color (múltiple) y en los DDF (polinomial).....	99

Introducción

Los denominados “frutales alto-andinos” son de alta demanda por los consumidores y su comercialización en fresco es la forma común de consumo. Estos frutos tienen corta vida poscosecha, con rápido deterioro de sus funciones fisiológicas en esta fase, lo cual repercute en su calidad y hace necesario plantear estudios de caracterización de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que acompañan la maduración.

El concepto de calidad como forma de diferenciar productos, ha evolucionado desde tiempos inmemoriales. A medida que el comercio cambia hacia lo internacional, la calidad se consolida como la herramienta competitiva por excelencia. En el pasado, la calidad de los productos frutihortícolas se relacionaba sólo al vegetal y poco se consideraban las necesidades del consumidor, mientras que en la actualidad se tienen en cuenta ambos aspectos. Por ello, es necesario considerar la calidad del producto y las exigencias del consumidor, ya que de él depende la aceptación final. Esta nueva situación determina que el criterio de calidad de un fruto debe estar en consonancia con el concepto de calidad que de él tiene el consumidor. Entre los diferentes atributos de calidad, han adquirido importancia los aspectos sensoriales y nutricionales, por ser aquellos sobre los que han dirigido sus exigencias los consumidores. La calidad organoléptica como la nutritiva son el resultado de la composición química del fruto y determinan las características sensoriales que atraen al consumidor, como el color, aroma, sabor y textura; el valor nutritivo, además, proporciona los sustentos esenciales para la salud al aportar proteínas, hidratos de carbono, vitaminas y minerales (Pinzón, 2000; López, 2003; Romojaro *et al.*, 2006).

La variabilidad genética de un cultivar dentro de una misma especie, puede ser amplia, por lo que la selección del apropiado es fundamental para determinar la calidad del producto final. Es importante considerar que el genoma determina cuantitativa y cualitativamente, los parámetros responsables de la calidad organoléptica y nutricional y también repercute sobre la capacidad del fruto para evolucionar luego de la recolección y sus posibilidades de conservación. Ante esta variabilidad la preferencia por un material es esencial, ya que la obtención de un fruto con calidad, dependerá de su potencial genético, de las condiciones ambientales y de cultivo (Romojaro *et al.*, 2006).

Al ser los frutos altamente perecederos y el agua su componente mayoritario, la actividad metabólica después de la recolección es alta, si se compara con los granos, situación que agrava los limitantes asociados al transporte y mercadeo. Para algunos frutos los problemas de la poscosecha han sido abordados; sin embargo, otro gran número de ellos no ha sido estudiado y por lo tanto su potencial comercial se ha desperdiciado (Tucker, 1993). La evolución de los compuestos de estos órganos ha sido estudiada durante la maduración y poscosecha en numerosas especies, con el fin de entender el comportamiento en poscosecha de estos productos, para alcanzar las mejores calidades

de consumo y para aprovechar sus condiciones nutraceuticas como nuevo valor agregado. Pero hasta ahora se dispone de poca información para muchos frutos de zonas tropicales con potencialidad económica, por lo cual su manejo en poscosecha es deficiente y las pérdidas, en este eslabón de la cadena productiva se consideran altas.

Existe la tendencia mundial hacia un mayor consumo de frutos y hortalizas, componentes importantes de la alimentación humana, por su aporte de vitaminas, minerales, fibra y por el papel nutraceutico que representan en la línea de ayudar a mantener una buena salud; esto también es motivado por la creciente preocupación por una dieta equilibrada, con menor cantidad de carbohidratos, grasas y aceites y con una mayor participación de vegetales. Cambio debido a las menores necesidades calóricas de la vida moderna, caracterizadas por un mayor confort y sedentarismo; otro factor que determina esta tendencia, es la mayor conciencia de la importancia de la dieta en la salud y longevidad (López, 2003).

En América Latina las pérdidas de frutos alcanzan y sobrepasan en muchas ocasiones 34% y 40% de los productos perecederos antes de llegar al consumidor final; en Colombia, estas pérdidas se valoran en 30% (Areiza 1999; Ramírez *et al.*, 2007), debido a la recolección en estado fisiológico inapropiado, forma deficiente de la cosecha y fallas en selección y empaque. A pesar de que se ha intentado establecer parámetros que permitan seguir la evolución de la maduración, en la mayoría de los frutos no se cuenta con índices de madurez que ayuden a determinar el momento apropiado de recolección. Los atributos sensoriales de color, sabor, textura y aroma y los compuestos responsables de los aspectos nutricionales, son diferentes según el momento de la recolección, lo que determina la calidad según la época de esta y su evolución en la poscosecha (Romojaro *et al.*, 2006). Debido a la problemática expuesta, se hace necesario realizar estudios en aspectos de cosecha y poscosecha para solucionar problemas asociados a las pérdidas de productos, además, valorarlos nutricionalmente, para de esta manera, aumentar las posibilidades de exportación de frutos tropicales con "valor agregado".

Lozano (2007) manifiesta que la agricultura promisorio colombiana, integrada por cultivos no tradicionales, algunos de ellos frutos exóticos y otros productos frutihortícolas, ha encontrado una coyuntura favorable para su desarrollo, debido al establecimiento de políticas gubernamentales como el Plan Frutícola Nacional, la Visión 2019 del Departamento Nacional de Planeación (DNP), la apuesta exportadora del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a lo cual se le suman instituciones que regulan el Sistema Nacional de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Instituto el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), Ministerio de la Protección Social, y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. La coyuntura anterior se debe a la globalización de la economía y la negociación de tratados de libre comercio con diferentes países.

Colombia al insertarse en la economía mundial, como estrategia para ampliar el mercado de los productos del campo que representan mayores oportunidades de desarrollo, convirtiéndose en retos para la modernización y la especialización de la estructura productiva, lo que resultará en más empleo e ingresos para miles de productores. Según el Plan Frutícola Nacional para el año 2006, el área cultivada con especies frutícolas ascendía a 230.000 ha con metas de expansión a 450.000 ha para el año 2020 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006); a pesar de ello, la actividad frutícola entre 2007 y 2011, no creció como era de esperarse, pasó de 225.016 ha sembradas o plantadas con 47 especies frutales (sin reportes estadísticos sobre gulupa) a 241.691 ha.

(Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). El valor de las exportaciones del rubro denominado “frutos comestibles, cortezas de agrios o melones” creció 12% entre 2007 y 2012 pero el volumen exportado descendió 17% en el mismo período (Agronet, 2013 a). El área sembrada en gulupa en 2011 fue de 521 ha con rendimientos estimados de 12,3 t ha⁻¹. (Agronet, 2013 d) observándose una reducción en el área de 28,7% con respecto a 2010.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2006), sostiene que para garantizar que la competencia externa genere las condiciones adecuadas para la modernización y la especialización de la producción agropecuaria, es necesario no sólo contar con una estrategia exportadora de largo plazo, sino con el respaldo de programas de investigación que orienten los esfuerzos, de los sectores público y privado, a los productos agropecuarios más competitivos, para asegurar el acceso real y competitivo de productos colombianos a los diferentes mercados internacionales. Por medio del decreto 2646 de 2007 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, la gulupa se identifica con el código arancelario 0810.90.10.30 como gulupa (Maracuyá morado) (*Passiflora edulis* var. *edulis*), ya que anteriormente se encontraba bajo el código que agrupaba granadilla, maracuyá y curuba (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2007). Esta decisión facilita el seguimiento a las exportaciones que para el año 2008 ascendieron a 1.374,12 toneladas por valor FOB de US \$ 5.416.432,0 y en el año 2012 fueron de 3.065,04 toneladas para un valor FOB de US \$ 13.167.660,0. Los principales países de destino por volumen importado son Holanda (Países bajos), Alemania, Bélgica y Luxemburgo (Agronet, 2013 b; Agronet 2013 c).

El cultivo se ha desarrollado en el Sur y Este de África, que es competidor de Colombia en el mercado europeo; además, de Australia y Nueva Zelanda, donde es apreciada por su aroma superior al maracuyá; Kenia exporta gulupa como fruto fresco al mercado europeo (Coppens, 2000; Shiomi *et al.* 1996). Pinzón *et al.* (2007) manifiestan que la gulupa ocupa el tercer lugar dentro de las exportaciones de frutos frescos hacia Europa, después del banano y la uchuva. Angulo (2008) menciona que la gulupa es apetecida en el mercado internacional por tener una acidez intermedia entre el maracuyá y la granadilla, además, ocupa el segundo lugar en exportación de pasifloras después de esta última.

En el área andina se ha reconocido un amplio grupo de especies frutales con posibilidades de desarrollo, dentro de las cuales se menciona la curuba redonda, gulupa o chulupa (*Passiflora edulis* Sims); de la cual, en el año 2002, se contaba con 22 accesiones de colectas de la zona andina colombiana (Lobo, 2000; Lobo *et al.* 2002). Así mismo Coppens (2000) manifiesta que en inventarios realizados en América se han encontrado 43 especies del subgénero *Passiflora* interesantes para la fruticultura; la mayoría de estas especies tienen vacíos tecnológicos, el fruto no está descrito y los datos etnobotánicos son pocos; en caso de alguna descripción de los frutos, el Botánico raras veces menciona características relativas a su calidad. Coppens (2000) ubica la gulupa en el subgénero *Passiflora*, serie *incarnatae* como especie *Passiflora edulis* f. *edulis*, forma púrpura de maracuyá que produce frutos pequeños a medianos, de cuatro a 9 cm de diámetro, con pericarpio moderadamente resistente, de color morado mate, pulpa amarillo oscura perfumada, que representa 35% a 50% del peso del fruto, rendimientos entre 5 – 10 t ha⁻¹ año.

A partir de una revisión de la taxonomía del maracuyá realizada por Bernacci *et al.* (2008) basada en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica y el Código Internacional

de Nomenclatura de Plantas Cultivadas y de acuerdo con la convención internacional promovida por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), definieron que se pueden encontrar varios colores como amarillo claro, amarillo, amarillo naranja, rojo-rosado, rojo, rojo-morado, verde-morado, morado y morado oscuro, útiles para la adecuada caracterización de cultivares de maracuyá dentro de la especie *Passiflora edulis* Sims. Por lo tanto, el nivel taxonómico *Passiflora edulis* Sims, se puede usar para cualquier planta y color de fruto, en combinación con el nombre del cultivar.

Las investigaciones que sobre gulupa se han realizado en Colombia han girado alrededor de variabilidad genética (Ortíz, 2010), caracterización agromorfológica (Ocampo *et al.*, 2008), caracterización ecofisiológica, fenología, fisicoquímica, fisiológica y bioquímica (Pérez y Melgarejo, 2012; Flórez *et al.*, 2012 a; Flórez *et al.*, 2012 b), tratamientos en pregerminación de semillas (Balaguera y Álvarez, 2008; Velásquez *et al.*, 2012), propagación asexual (Forero *et al.* 2008), buenas prácticas agrícolas (Guerrero *et al.*, 2012), estudios fisiológicos en cuanto al comportamiento estomatal (Sánchez *et al.* 2008), biología floral (Ángel *et al.*, 2011; Nates *et al.*, 2012), determinación de los grados de madurez (Pinzón *et al.* 2007), estudios sanitarios relacionados con el nemátodo *Meloidogyne incognita* (Rodríguez y Arbeláez, 2008), problemas bacterianos causados por *Xanthomonas axonopodis* (Guerrero *et al.*, 2010), identificación de virus (Camelo, 2010), agentes causales de la “roña” (Quiroga *et al.*, 2010), epidemiología de la “roña” (Mora, 2011), etiología de la “mancha de aceite” (Benítez, 2010), agente causal de la “secadera” (Ortiz y Hoyos, 2010), estudios sobre *Fusarium* (Cruz *et al.*, 2012), enfermedades asociadas a la poscosecha (Orjuela *et al.*, 2011), almacenamiento en atmósferas controladas (Castellanos, 2010), poscosecha, análisis nutraceútico, empaques, caracterización bioquímica, procesos agroindustriales para la elaboración de néctares y pruebas de vida útil (Ojasild, 2009; Cruz *et al.*, 2010; Rodríguez, 2010; Rodríguez y García 2010; Orjuela *et al.*, 2011).

La gulupa en la zona andina, es una opción para tierras altas alrededor de los 2.000 msnm, donde también se encuentra en estado subespontánea. En Colombia, el cultivo es marginal y no hay material mejorado. Se le conoce con los nombres de “curuba redonda”, “gulupa”, o “chulupa”. Pachón *et al.* (2006) indican que se encuentra cultivada entre los 1.800 y 2.400 msnm, el manejo se realiza con referencia a granadilla, por lo que las zonas de explotación agrícola, según este concepto podrían estar entre los 1.600 y 2.700 msnm, con temperaturas que varían de 16 a 24 °C y precipitaciones de 1.500 a 2.500 mm anuales. Fischer (2010) recomienda temperaturas entre 15 y 20 °C con altitudes entre 1.400 a 2.200 msnm, precipitación entre 1.500 y 2.500 mm anuales, suelos sueltos, profundos, ricos en materia orgánica, bien drenados y con pH entre 5,5 y 7,5. Miranda y Carranza (2010) determinaron dos sistemas de cultivo de gulupa en Colombia para el clima frío moderado; uno entre los 1.600 y 1.900 msnm y el segundo entre 1.900 y 2.200 msnm. Estos sistemas en su forma modal se caracterizan por utilizar la gulupa denominada “morada regional”, con densidades de población entre 400 y 1.000 plantas ha⁻¹, manejo de malezas manual, tres podas de formación, tutorado en espaldera sencilla con tres alambres, fertilización con macroelementos cada dos meses y con microelementos cada seis meses, control químico de enfermedades, recolección semanal con producción anual entre 13 y 15 t ha⁻¹.

Ocampo *et al.* (2008) estudiaron con descriptores morfológicos la variabilidad genética de gulupa con orígenes en Colombia, Brasil y Perú, e identificaron diferencias entre los materiales de cada país y homogeneidad entre las accesiones colombianas. Bellon *et al.* (2007), en Brasil, mediante marcadores moleculares RAPD evaluaron accesiones

silvestres y comerciales procedentes de Brasil y Australia, donde encontraron gran variabilidad genética al considerar las accesiones silvestres y comerciales; así mismo, las plantas de frutos amarillos, presentaron mayor distanciamiento con relación a las de frutos rojos del Brasil y los introducidos de Australia. La mayoría de estudios realizados en los países productores han utilizado materiales amarillos y rojos de zonas cálidas, las referencias hacia gulupa son escasas, por lo que se debe caracterizar este material bajo las condiciones colombianas, ya que su composición puede diferir del maracuyá de tierras cálidas.

La importancia práctica del estudio de la fisiología en poscosecha de cultivos, radica en su influencia sobre la conservación de esos productos y es apropiado desde el punto de vista de qué propiedades se quieren conservar; un suplemento energético?, una proteína?, un determinado metabolito? o quizá interese la calidad integral del vegetal el cual es nutricionalmente importante?. Todos estos interrogantes pueden ser ciertos, aunque diferentes según la especie o cultivar; además, las soluciones a la problemática de la poscosecha del fruto y el conocimiento integral de lo que aportan a la dieta esos cultivos, justifica el estudio de los cambios que se suceden en la poscosecha (Burton, 1982; Tucker, 1993).

En el aspecto de la investigación, cuando se selecciona una especie agrícola con potencial para su producción comercial, se debe conocer a fondo la calidad del material para la toma de decisiones sobre qué y dónde sembrar, cómo manejar el sistema de producción, cómo es su manejo posrecolección, además, conocer su comportamiento para fines de transformación industrial. La generación de este conocimiento, a través de la investigación sistemática, servirá de respaldo para el inicio de proyectos productivos competitivos y en el caso de la gulupa, para que Colombia logre su mejor aprovechamiento integral y de esta manera pueda mantener y aumentar los volúmenes de exportación a los mercados internacionales actuales y nuevos. La investigación también debe responder a la satisfacción y expectativas de los consumidores en cuanto a sus preferencias; para ello, se deben tener en cuenta aspectos relacionados con las tendencias de la nutrición. El concepto clásico de "nutrición adecuada" que aporta los nutrientes suficientes (hidratos de carbono, proteínas, grasas, vitaminas y minerales), para satisfacer las necesidades orgánicas, tiende a ser sustituido por el de "nutrición óptima", que incluye, además, la potencialidad de los alimentos para promocionar la salud, mejorar el bienestar y reducir el riesgo de desarrollar enfermedades. Es importante también, aparte de la calidad, la variedad de frutos que se ofrecen a los consumidores en el mercado, sobre todo en países de zona templada, donde el comercio está dominado por un pequeño número de frutos, donde estos consumidores buscan nuevos sabores, formas y colores, los cuales pueden ser aportados por los frutos tropicales, de los que se incrementa rápidamente su consumo (Tucker, 1993; Fundación Eroski, 2002).

El objetivo de esta investigación es contribuir a la generación de conocimiento para el manejo eficiente de la cosecha y la poscosecha, útil en el aprovechamiento de las propiedades como alimento nutraceutico y la construcción de estándares de calidad; en procura de ofrecer la mayor calidad integral de los frutos.

Bibliografía

- AGRONET. 2013 a. Sistema de estadísticas agropecuarias. Cifras comercio exterior. Exportación. Exportaciones agregadas de productos de origen agropecuario y agroindustrial. <http://www.agronet.gov.co>; consulta: abril 2013.
- AGRONET. 2013 b. Sistema de estadísticas agropecuarias. Cifras comercio exterior. Exportación. Exportaciones del sector agropecuario. <http://www.agronet.gov.co>; consulta: abril 2013.
- AGRONET. 2013 c. Sistema de estadísticas agropecuarias. Cifras comercio exterior. Exportación. Destino de las exportaciones del sector agropecuario por producto. <http://www.agronet.gov.co>, consulta: abril 2013.
- AGRONET. 2013 d. Sistema de estadísticas agropecuarias. Agropecuarias y uso del suelo. Área producción y rendimiento, producción nacional por producto. <http://www.agronet.gov.co>; consulta: abril 2013.
- ÁNGEL C, C; NATES P, G.; OSPINA T, R.; MELO O, C. D.; y AMAYA M, M. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. En: *Caldas* 33 (2): 433 – 451.
- ANGULO, R. 2008. EL cultivo de la gulupa *Passiflora edulis* Sims. Seminario nacional sobre pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá. sp.
- AREIZA V, C. A. 1999. Algunas reflexiones para comercializar perecederos (el caso de las frutas). En: *Revista Estudios Gerenciales* 72: 13 – 22.
- BALAGUERA L, H. E.; y ÁLVAREZ H, J. G. 2008. Tratamientos pregerminativos en semillas de gulupa *Passiflora edulis* Sims. Seminario nacional sobre pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá. sp
- BELLON, G.; GELAPE F, F.; PEREIRA J, K.; VILELA J, N. T.; CARVALHO D, E.; FIDELES B, M.; y TEXEIRA G, C. 2007. Variabilidade genética de acessos silvestres e comerciais de *Passiflora edulis* Sims com base em marcadores RAPD. En: *Rev. Bras. Frutic.* 29 (1): 124 – 127.

- BENÍTEZ H, S. V. 2010. Caracterización del agente etiológico de la enfermedad denominada “mancha de aceite” en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en zonas productoras de Colombia. Tesis M. Sc. Microbiología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Posgrado Interfacultades. Facultad de Ciencias. Santafé de Bogotá. 107 p.
- BERNACCI, L. C.; SOARES S, M. D.; VILELA J, N. T.; DA SILVA P, I. R.; MOLINA M, L. M. 2008. *Passiflora edulis* Sims: The correct taxonomic way to cite the yellow passion fruit (and the others colors). En: Rev. Bras. Frutic. 30 (2): 566 – 576.
- BURTON, W.G. 1982. Post-harvest Physiology of Food Crops. Longman Group Limited. New York. 339 p.
- CAMELO G, V. M. 2010. Detección e identificación de los virus patógenos de cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en la región del Sumapaz (Cundinamarca). Tesis M. Sc. Fitopatología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Agronomía. 70 p.
- CASTELLANOS E. D. A. 2010. Caracterización de algunos parámetros bioquímicos de maduración de gulupa en atmósferas modificadas. Trabajo Especial. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Bogotá D.C. 59 p.
- COPPENS D`E, G. 2000. Promesas de las pasifloras. <http://cirad-flor.com/geocoppens>; consulta: octubre 2008.
- CRUZ A, M.; FLÓREZ G, L. M.; PÉREZ M, L. V.; MELGAREJO, L. M. 2010. Caracterización bioquímica, curvas de crecimiento y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en Granada, Cundinamarca. Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 109.
- CRUZ A, M.; HOYOS C, L.; MELGAREJO, L. M. 2012. Respuesta fisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) frente al ataque por *Fusarium* spp. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p 91 – 113.
- FISCHER G, 2010. Condiciones ambientales que afectan crecimiento, desarrollo y calidad de las pasifloráceas Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 10 - 22.
- FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M. 2012 a. Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 33 – 51.
- FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, S. 2012 b. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 53 – 79.

- FORERO, A.; BECERRA, N.; FISCHER, G.; MIRANDA, D. 2008. Propagación de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) por estacas. Seminario Nacional sobre Pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá. sp.
- FUNDACIÓN EROSKI. 2002. Alimentos funcionales o enriquecidos. <http://revista.consumer.es/web/es/20020101/alimentacion/33366.php>; consulta: abril 2013.
- GUERRERO, E.; VELANDIA, L.; SANABRIA, N.; HOYOS, L. 2010. Manejo integrado de la bacteriosis causada por *Xanthomonas axonopodis* en el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 90.
- GUERRERO L, E.; POTOSÍ G, C.; MELGAREJO, L. M.; HOYOS C, L. 2012. Manejo agronómico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en el marco de las buenas prácticas agrícolas (BPA). En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p 123 – 144.
- LOBO, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Manizales. p. 27 – 36.
- LOBO A, M.; MEDINA, C.; DELGADO, O.; ZULUAGA, M.; CARDONA, M.; OSORIO, A. 2002. Recursos genéticos de frutales andinos en el Sistema de Bancos de Germoplasma del Estado Colombiano. IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Medellín. p 43 - 48.
- LÓPEZ C, A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151. Roma. p. 95 – 111.
- LOZANO, R. 2007. Perspectivas y Tendencias de la Agricultura Colombiana. Fruticultura Horticultura Sector Forestal 2007-2008. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 29 diapositivas.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2006. Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006 – 2020. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá. 19 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2012. Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y sus calendarios de siembras y cosechas. Bogotá, D.C. 303 p.
- MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO DE COLOMBIA. 2007. Decreto 2646 de 2007. Por el cual se modifica el arancel de aduanas y se dictan otras disposiciones. Bogotá. 5 p.
- MIRANDA, D.; CARRANZA, C. 2010. Caracterización de los sistemas productivos de pasifloráceas en zonas productoras de Colombia. Primer Congreso

- Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 27 - 59.
- MORA H, R. 2011. Análisis epidemiológico de roña en gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en la región del Sumapaz, Colombia. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias - Fitopatología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Agronomía. 74 p.
- NATES P, G.; AMAYA M, M.; OSPINA T, R.; ÁNGEL C, C.; MEDINA G, J. 2012. Biología floral, reproductiva, polonización y polinizadores en gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis*). En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p 115 – 121.
- OCAMPO P, J.; COPPENS D`E, G.; JARAMILLO N, N. 2008. Caracterización agromorfológica del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) y de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Seminario Nacional sobre Pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. Bogotá. sp.
- OJASILD R, L. E. 2009. Elaboración de néctares de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) y curuba (*Passiflora mollissima*). Trabajo Especial Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 34 p.
- ORJUELA B, N. M.; CAMPOS A, S.; SÁNCHEZ N, J.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, M. S. 2011. Manual de manejo poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, M. S. Eds. Poscosecha de la Gulupa. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 7 – 22.
- ORTIZ, E.; HOYOS C, L. 2010. Secadera: agentes causales y sintomatología asociada en gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 94.
- ORTIZ V, D. C. 2010. Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. - Genética y Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Agronomía. 127 p.
- PACHÓN, A.; MONTAÑO, A.; FISCHER, G. 2006. Efecto del empaque encerado y temperatura sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en poscosecha. En: Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesado: productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Ed. Guadalupe. Bogotá. 350 p.
- PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M. 2012. Caracterización ecofisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 11 – 32.
- PINZÓN F, M. I. 2000. Propiedades físicas de cosecha y poscosecha de frutos de lulo "La Selva". 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias, Manizales p. 386 – 397.

- PINZÓN, I. M.; FISCHER, G.; CORREDOR, G. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Agronomía Colombiana 25 (1): 83 – 95.
- QUIROGA, I.; RIASCOS, D.; HOYOS C, L. 2010. Agentes causales de la roña en gulupa (*Pasiflora edulis* Sims). En: Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 86.
- RAMÍREZ G, M. B.; NEIRA G, A.; CORREA, L. J. 2007. Actividad antimicrobiana, conservante y obtención de un colorante natural a partir de plantas de la región de Boyacá. En: Scientia et Technica 12 (33): 415 – 417.
- RODRÍGUEZ, M. H.; ARBELÁEZ, G. 2008. Determinación del nemátodo nodulador *Meloidogyne incognita* en gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en el municipio de Icononzo (Tolima). Seminario Nacional sobre Pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. sp.
- RODRÍGUEZ C, A. M. 2010. Pruebas de vida útil y diseño de etiqueta para néctares de curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) y gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis*). Trabajo Especial Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Ciencias – Programa Interfacultades. Departamento de Química. Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 39 p.
- RODRÍGUEZ, M.; GARCÍA, C. 2010. Poscosecha, procesamiento y análisis nutracéutico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*). En: Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 107.
- ROMOJARO, F.; MARTÍNEZ M, M. C.; PRETEL, M. T. 2006. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. <http://www.horticom.com/pd/imagenes/65/906/65906.pdf>; consulta: marzo 2013.
- SÁNCHEZ, C.; FISCHER, G.; SANJUANELO, D. 2008. Comportamiento estomal en frutos y hojas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y en frutos y cladodios de pitaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). Seminario Nacional sobre Pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. sp.
- SHIOMI, S.; WAMOCHO, L. S.; AGONG, S. G. 1996. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. En: Postharvest Biology and Technology 7 (1 – 2): 161- 170.
- TUCKER, G. A. 1993. Introduction. En: SEYMOUR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. Ed. Biochemistry of Fruit Ripening. London. Chapman & Hall. p. 1 – 51.
- VELÁSQUEZ, J. D.; MELGAREJO, L. M.; MAGNITSKIY, S. 2012. Tratamientos pregerminativos en semillas de gulupa *Passiflora edulis* Sims En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 81 – 89.

Capítulo 1

Análisis de crecimiento del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en las condiciones ecológicas del bosque húmedo montano bajo de Colombia

Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) fruit growth analysis, in the ecological conditions of lower montane rain forest of Colombia

1.1 Resumen

Los “frutales alto-andinos” se consideran importantes por su potencial de consumo nacional y exportación. Entre ellos está la gulupa (*Passiflora edulis* Sims), reconocida como un frutal de buena aceptación en mercados europeos; sin embargo, el respaldo tecnológico asociado al cultivo es incipiente y su corta vida poscosecha conduce a su rápido deterioro. Una contribución importante para el desarrollo del cultivo es la modelación del crecimiento del fruto, con base en modelos matemáticos que sirvan como estimativos de cosecha, para definir protocolos aplicables en su manejo agronómico. Para ello se evaluaron 10 materiales de gulupa provenientes de los departamentos de Antioquia, Putumayo y Nariño (Colombia), en los que se hicieron muestreos destructivos periódicos de frutos con edad conocida, a los que se les determinó el peso seco, los diámetros polar y ecuatorial, el tiempo térmico (TT) y la tasa de crecimiento relativo (TCR). Para analizar el crecimiento, se emplearon modelos no lineales. Como variable predictora del peso seco, del diámetro polar y del diámetro ecuatorial se utilizaron los días después de floración. Para cada respuesta, se eligió el modelo con mejor ajuste según presentara una distribución más homogénea de los residuales, mayor coeficiente de determinación de predicción (R^2 pred), menor Error Cuadrático Medio, menor Sesgo y menor valor del estadístico PRESS. La TCR sirvió para delimitar y describir las fases del crecimiento y el TT se usó para comparar con los estados de maduración del fruto. Se encontró que las variables en estudio fueron explicadas satisfactoriamente por el modelo Monomolecular-Weber. Con base en los modelos ajustados para el crecimiento, se

puede inferir que después de la floración, debe alistarse la cosecha a partir de los 85 – 90 días siguientes a la expresión fenológica mencionada.

Palabras clave: Dinámica del crecimiento, desarrollo del fruto, tiempo térmico, pasifloras.

1.2 Abstract

The "high-Andean fruit" are considered important because of their potential for domestic consumption and export. Among them is the gulupa (*Passiflora edulis* Sims), recognized as a fruit of good acceptance in European markets; however, the technological support associated to the crop is emerging and its short shelf life leads to rapid deterioration of the fruit. An important contribution to the development of crop is the fruit growth modeling, based on mathematical models that serve as estimates of harvest, in order to define applicable protocols for agronomic management. We evaluated 10 gulupa materials from the departments of Antioquia, Putumayo and Nariño (Colombia), making periodic destructive sampling of fruits with known age, which were analyzed for dry weight, polar and equatorial diameters of the fruit, thermal time (TT), and relative growth rate (RGR). To analyze the growth of the fruit, we used nonlinear models using the days after flowering as a predictor of the dry weight, the polar diameter and equatorial diameter. For each response, we chose the best fitting model present a more homogeneous distribution of the residuals, higher prediction coefficient of determination (R^2 pred), smaller Mean Square Error, bias and PRESS value. The RGR was used to identify and describe the stages of fruit growth, and TT was used as a complementary measure to compare states with fruit ripening. We found that the study variables were satisfactorily explained by the Monomolecular-Weber model. Based on the adjusted models for fruit growth, it can be inferred that after heavy flowering, it is necessary to enlist the harvest from the 85 - 90 days after this phenological expression.

Key words: Growth dynamic, fruit development, thermal time, passifloraceae.

1.3 Introducción

Los denominados "frutales alto-andinos" son de alta demanda por los consumidores y su comercialización en fresco es la forma común de consumo. Estos frutos tienen corta vida poscosecha, con rápido deterioro de sus funciones fisiológicas en esta fase de su vida, lo cual repercute en su calidad y hace necesario plantear estudios de caracterización de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que acompañan la maduración. En el área andina colombiana se ha reconocido un amplio grupo de especies de frutales con posibilidades de desarrollo como cultivo de interés comercial, dentro de las cuales se menciona la curuba redonda o gulupa (*Passiflora edulis* Sims) (Lobo, 2000). La mayor parte de la producción se destina a la exportación, la cual ascendió en el año 2012 a 3.065 toneladas, por un valor FOB de US \$ 13.167.660,0; los mercados europeos los principales destinos (Agronet, 2013).

El estudio del crecimiento, definido como el aumento irreversible en tamaño y peso seco, y el desarrollo, que marca los cambios graduales y progresivos en tamaño, estructura y función (Aristizábal, 2003), resulta útil para conocer aspectos como el estado óptimo de cosecha (Tapia *et al.*, 1998; Cañizares *et al.*, 2003), determinar el modo en que crecen los frutos con respecto a la edad, el tamaño y el peso al momento de la cosecha (Coombe, 1976; Avanza *et al.*, 2004), proponer manejos y labores culturales de los cultivos (Rojas *et al.*, 2008; Casierra y Cardozo, 2009), establecer estados fenológicos y analizar la formación y desarrollo estructural de los frutos a través del tiempo (Mazorra *et al.*, 2006).

Un modelo matemático permite sintetizar e incrementar el conocimiento sobre un sistema (López *et al.*, 2005), evaluar posibles estrategias de manejo y realizar estimaciones de rendimiento potencial, costos y beneficios con el uso de determinadas prácticas como fertilización, riego y transacciones comerciales (Tapia *et al.*, 1993; Cañizares *et al.*, 2003). Entre los modelos no lineales utilizados para caracterizar el crecimiento y/o el desarrollo en función del tiempo, se destacan el logístico, el exponencial y el monomolecular (Aristizábal, 2003; Rojas *et al.*, 2008, García, 2010), así como el de Michaelis-Menten (Rojas *et al.*, 2008). El modelo logístico se caracteriza por tener forma sigmoideal y es el resultado de la combinación del modelo exponencial y monomolecular, separados por un punto de inflexión; el modelo exponencial explica el crecimiento o decrecimiento continuo (Rojas *et al.*, 2008) y expresa que la tasa de cambio en el peso seco de la planta está determinada por el peso previamente acumulado, debido a lo cual la tasa de crecimiento aumenta constantemente (Aristizábal, 2003). El mismo autor manifiesta que este modelo aclara por qué las semillas pequeñas producen plántulas de menor tamaño que las producidas por semillas medianas o grandes. El modelo monomolecular muestra que la tasa de cambio en el peso seco de una planta está determinada por la cantidad de crecimiento que aún falta por suceder, por lo que la tasa de crecimiento presenta disminución constante (Aristizábal, 2003). El modelo monomolecular se ha empleado para estimar el crecimiento de diferentes estructuras vegetales y patógenos; sobre este aspecto, Avanza *et al.* (2004), con el modelo monomolecular describieron el patrón de crecimiento de frutos de naranjo dulce (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) var. Valencia Late, al utilizar el diámetro en función de los días después de plena floración con la función $Diámetro (mm) = G \left(1 - \beta e^{(-Y * DDPF)} \right)$. Rojas *et al.* (2008) estimaron el peso fresco del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.), mediante la función $Y = a(1 - e^{-b})$, al medir variables no destructivas como el volumen de agua desplazada en una probeta por el fruto o el volumen del mismo. Costa *et al.* (2002) indican que en estudios epidemiológicos el modelo, monomolecular Mitscherlich, se puede aplicar a situaciones de simulación de progreso, prevención de ocurrencia y cuantificación de enfermedades, daños y pérdidas; en este caso la velocidad de aumento de la enfermedad, es proporcional al inóculo inicial y la tasa, ambos supuestos constantes. La ecuación para describir el modelo es $\frac{dx}{dt} = rM(1-x)$, con rM como la tasa específica para este modelo ($rM = inóculo\ inicial * tasa$) y $(1-x)$ es el tejido sano. El modelo Michaelis-Menten se recomienda para describir el crecimiento de plantas en respuesta al incremento en la concentración del factor limitante (Mancera *et al.*, 2003).

Villegas *et al.* (2004), con la función Gauss y la sustitución de sus coeficientes por funciones matemáticas que incluyen el efecto de la densidad de población, obtuvieron modelos que simulan la cinética del crecimiento de la biomasa total en tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) cv. Gabriela, en condiciones de invernadero y manejo agronómico definido. Mientras que Tapia *et al.* (1993) ajustaron ecuaciones propuestas por Bailey y Clutter (1974), para explicar el desarrollo del calibre ecuatorial y edad en frutos de olivo (*Olea europea* L.). En el mismo sentido, Cañizares *et al.* (2003) describieron el crecimiento del fruto de guayabo (*Psidium guajava* L.) con patrón sigmoidal doble. De otro lado, Casierra y Cardozo (2009) adecuaron el empleo de modelos cúbicos en frutos de tomate cv. Quindío, que crecían en condiciones de campo abierto.

Shiomi *et al.* (1996) y Rodríguez y García (2010) observaron un rápido incremento del fruto de la gulupa en longitud y diámetro con un máximo hacia los 20 días después de floración, por lo que lo consideran como un patrón específico de la especie. El peso también aumentó rápidamente hasta los 20 días después de floración (Shiomi *et al.*, 1996), mientras que para Rodríguez y García (2010), el peso se incrementó hasta los 50 días y en forma más gradual hacia la época de maduración. Shiomi *et al.* (1996) registraron además una segunda adición en peso que pudo deberse a la acumulación del jugo. Algunos frutos presentan un comportamiento en su crecimiento de tipo doble sigmoidal, Salisbury y Ross (1994), lo indican en durazno (*Prunus pérsica* L.); otros crecimiento simple sigmoidal, como la gulupa (Cruz *et al.*, 2010), el maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) según Lederman y Gazit (1993), la champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.), Álvarez *et al.* (2009) y la carambola (*Averrhoa carambola* L) como lo exponen González *et al.* (2001).

El objetivo de esta investigación fue la modelación del crecimiento del fruto de gulupa, con base en modelos no lineales.

1.4 Materiales y Métodos

1.4.1 Ubicación

El cultivo experimental se plantó en el municipio de Rionegro, departamento de Antioquia, Centro de Investigación La Selva de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, con latitud norte 6° 7' 49'' y longitud oeste 75° 24' 49'', a 2.090 msnm, temperatura promedio anual de 17 °C, precipitación promedio anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedio anual de 78%, brillo solar promedio anual de 1.726 horas año⁻¹, evapotranspiración promedio anual de 1.202 mm; ubicado en la zona de vida ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB).

1.4.2 Material biológico

El trabajo de campo se hizo en un área experimental donde se estableció al azar una población compuesta por 10 materiales de gulupa, provenientes de los departamentos de Antioquia, Putumayo y Nariño (Colombia), que hacen parte del banco de germoplasma de la nación colombiana, administrado por Corpoica y que según Ortiz (2010), reporta baja variabilidad genética, determinada con marcadores moleculares AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism) y SSRs (Secuencias Simples Repetidas).

Para la obtención de los frutos, se marcaron con hilos de colores, flores que estuvieran en la fases homógama con y sin hercogamia según lo manifestado por Ángel *et al.* (2011), éstos estados se tomaron como día cero de edad del fruto y cada época de muestreo se rotuló como días después de floración (DDF).

1.4.3 Procedimiento experimental

Se realizaron muestreos destructivos cada siete días, durante 16 semanas, a partir de los 7 DDF y hasta los 112 DDF. En cada uno de los muestreos se evaluaron 10 frutos seleccionados al azar. Las muestras se transportaron en cajas de poliestireno expandido que contenían hielo seco, con temperatura interna de 4°C aproximadamente. Las determinaciones se realizaron 2 h después de la cosecha en el laboratorio de poscosecha de Corpoica, con temperatura promedio de 20 °C y HR de 70%.

La investigación se hizo con base en el análisis funcional del crecimiento, fundamentado en muestreos frecuentes, que tienen en cuenta toda la información obtenida para definir cada punto de la curva, con el objetivo de obtener funciones matemáticas a través de regresión no lineal, que describan el crecimiento (Rodríguez y Leihner, 2006). Para ello se consideraron las siguientes variables:

- **Peso seco (PS).** Se obtuvo con el peso individual de los frutos, en una balanza Mettler® PE 360, el valor se expresó en gramos; luego se llevaron a un horno Venticell® 111, a 70 °C, para secarlos hasta obtener peso constante.
- **Diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE).** Se midieron cada uno de los frutos con un calibrador digital L&W Tools®, el resultado se expreso en centímetros. El diámetro polar se obtuvo de la medida desde la cicatriz de la inserción del pedúnculo hasta el extremo opuesto del fruto; el diámetro ecuatorial se midió en la parte más ancha del fruto.

- **Tiempo térmico (TT).** Fundamentado en el concepto de que cada fase del desarrollo del vegetal, requiere un mínimo de acumulación de temperatura para llegar a su término, y que la planta pueda pasar a la fase siguiente. Al respecto, de acuerdo a lo expresado por Fischer (2010), se fijó en 10 °C la temperatura base inferior (T_{bi}). El TT se calculó según la metodología del triángulo simple propuesta la Universidad de California (UC Davis, 2013) y se expresó en °D.
- **Tasa de crecimiento relativo (TCR).** Denota el incremento en peso seco por unidad de peso original en un tiempo determinado. Se dedujo por medio de la siguiente ecuación (ecuación (1.1)).

$$TCR = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{Blackman, 1919}) \quad (1.1)$$

Ln = Logaritmo natural

*P*₁ = Peso inicial

*P*₂ = Peso final

*t*₁ = Tiempo inicial

*t*₂ = Tiempo final

Para analizar el crecimiento del fruto, se evaluaron los modelos no lineales reportados por Kiviste *et al.* (2002): Alométrico, Exponencial, Terazaki, Korf, Gemesi, Korsun, Gram, Sloboda, Verhulst-logística, Wingert, Pearl-reed, Simek, Moiseev III, Monomolecular-Weber, Todorovic III, Var der vliet, Kovessy, Thomasius I, Thomasius II, Bass, Gompertz, Gompertz-wenk, Mitscherlich I, Bertalanffy, Weibull II, Weibull II y Mitscherlich III. Se ajustaron modelos para el peso seco, el diámetro polar y el diámetro ecuatorial; en todos los casos los DDF se utilizaron como variable predictora. Para cada respuesta, se eligió el modelo que brindara mejor ajuste, esto es, una distribución más homogénea de los residuales, mayor coeficiente de determinación de predicción (*R*² pred), menor Error Medio Cuadrático, menor Sesgo y menor valor del estadístico PRESS. La TCR sirvió para delimitar y describir las fases del crecimiento del fruto; el TT se empleó como medida para comparar con los estados de maduración del fruto, que estaban expresados como DDF.

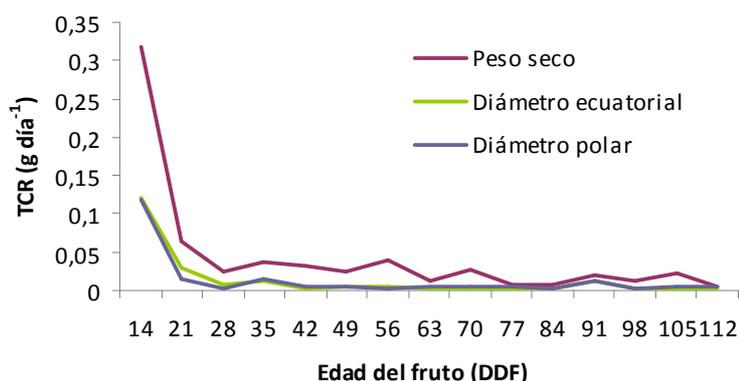
1.5 Resultados y Discusión

1.5.1 Peso seco

El tamaño del fruto aumentó continuamente durante toda la fase de crecimiento. Se distinguieron tres períodos de crecimiento que pueden delimitarse así: el primero, hasta los 14 DDF (99,4 °D), con una TCR de 0,319 g día⁻¹; un segundo período, hasta los 28 DDF (197,23 °D), con una TCR de 0,065 g día⁻¹, y una etapa final, hasta los 112 DDF

(779,13 °D), con una TCR de 0,0255 g día⁻¹ (Figura 1-1). Esto muestra que el crecimiento ocurre de manera fundamental durante el primer mes. La trayectoria que seguía la tasa de crecimiento relativa tendió a estabilizarse, con menores cambios hacia los 91 DDF, lo cual sugiere que bajo las condiciones ambientales en las que se realizó la investigación, puede iniciarse la cosecha de los frutos alrededor de los 85 – 90 DDF, donde el tiempo térmico acumulado estuvo entre 589,73 y 635,23 °D. Similar a lo establecido en esta investigación, Shiomi *et al.* (1996) encontraron en gulupa un rápido incremento en el peso fresco del fruto hasta los 20 DDF y luego gradualmente hasta la maduración. Flórez *et al.* (2012) indican que el período transcurrido desde flor en anthesis a madurez fisiológica es de 85 – 90 días y lo corroboran con las características de la semilla que en esta época presenta testa dura y color negro a diferencia de estados anteriores; además, expresan que durante los primeros 20 a 35 DDF se presenta el aumento en los espacios intercelulares al interior del fruto. Rodríguez y García (2010) determinaron la madurez fisiológica del fruto hacia los 70 días y Pinzón *et al.* (2007), con la escala de color de siete grados que elaboraron, recomiendan el estado tres de la escala, como momento óptimo de cosecha, pero no mencionan una edad aproximada. Los valores promedios y desviación estándar para el peso seco se presentan en la Tabla 1 -1.

Figura 1-1: Tasa de crecimiento relativo en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



En pasifloras el patrón de crecimiento sigmoide ha sido representado por Pocasangre *et al.* (1995), Lederman y Gazit (1993), Gómez *et al.* (1999), Villanueva *et al.* (1999) y Cruz *et al.* (2010), en maracuyá amarillo, Arjona *et al.* (1991), lo describieron en maracuyá morado y García (2008) en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), este comportamiento fue corroborado en gulupa con esta investigación. Shiomi *et al.* (1996), al registrar el peso fresco del fruto de gulupa observaron la misma tendencia. Para representar el peso seco se ajustó el modelo monomolecular-Weber, con un patrón de crecimiento sigmoide simple obteniéndose un R² pred de 0,92 (Tabla 1-1 y Figura 1-2).

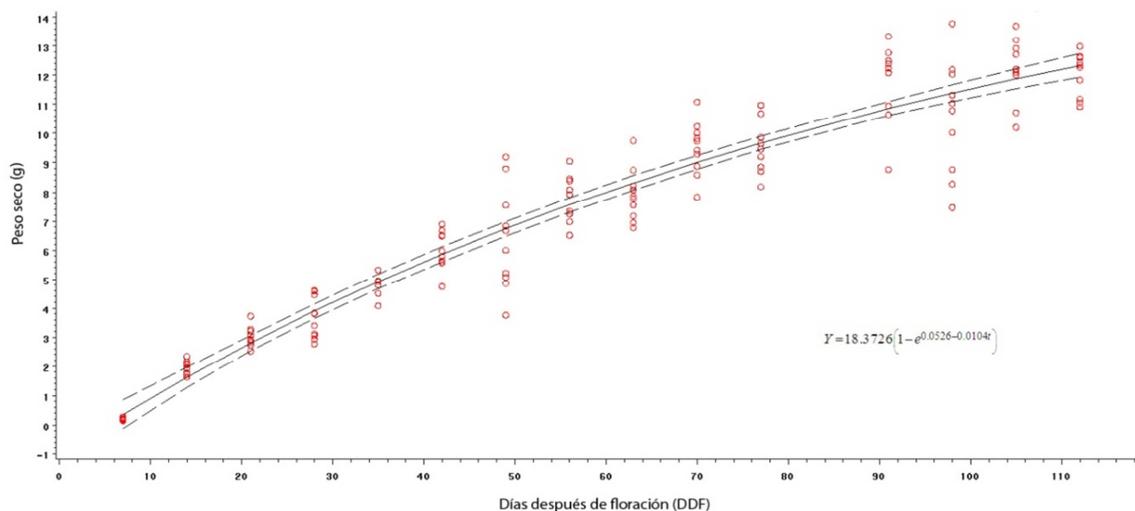
Otros autores han adaptado modelos distintos para describir esta misma variable como Almanza *et al.* (2009), que adecuaron un modelo logístico para vid (*Vitis vinifera* L), González *et al.* (2001), que acondicionaron un modelo polinomial en carambola, Casierra y Cardozo (2009), que concertaron un modelo cúbico en tomate cv. Quindío, Hernández

y Martínez (1994), que desarrollaron un modelo cuadrático en tomate de árbol y Rodríguez *et al.* (2006), que generaron un modelo polinomial de tercer grado en feijoa, todos con altos valores de R^2 , lo que indica la alta capacidad de predicción de tales modelos.

Tabla 1-1: Estimadores de los parámetros del modelo monomolecular-Weber $Y = a(1 - e^{-b \cdot ct})$ y estadísticos de bondad de ajuste empleados para el análisis del crecimiento de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).

Variable	Parámetros modelo	$PRESS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i}{1-h_{ii}} \right)^2$	Sesgo $= \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$	Error Cuadrático Medio	$R^2_{pred} = 1 - \frac{PRESS}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Peso seco	a=18,3726 b=0,0526 c=0,0104	165,438	0	1,05337	0,92459
Diámetro ecuatorial	a=5,3015 b=0,2726 c=0,0954	12,8769	0	0,28008	0,91515
Diámetro polar	a=5,7760 b=0,8810 c=0,1926	13,8462	0	0,29319	0,90046

Figura 1-2: Evolución del peso seco del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo monomolecular-Weber. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.



1.5.2 Diámetro polar

Su evolución se ajustó al modelo monomolecular-Weber, con R^2 pred de 0,90 (Tabla 1-1 y Figura 1-3) que para este caso, exhibe un patrón de crecimiento sigmoide simple. Se observó un crecimiento acelerado hasta los 21 DDF (148,03 °D), donde tendió a estabilizarse; comportamiento similar a lo encontrado para gulupa por Flórez *et al.* (2012), Shiomi *et al.* (1996) y Rodríguez y García (2010); en maracuyá, por Arjona *et al.* (1991), Lederman y Gazit (1993), Tapia *et al.* (1998) y Gómez *et al.* (1999), y en granadilla por García (2008). Se aprecia que el fruto alcanza prácticamente su tamaño definitivo hacia esta época; posteriormente ocurren los procesos de diferenciación celular y llenado del fruto tal como lo expresan Salisbury y Ross (1994), al calificar las fases de este proceso. Se destaca que los valores de esta variable (Tabla 1-2), están dentro de los encontrados por Orjuela *et al.* (2011). El diámetro polar siempre presentó valores superiores al diámetro ecuatorial, situación observada también por Gómez *et al.* (1999), en maracuyá morado y García (2008), en granadilla; esto se refleja en la forma característica del fruto.

Figura 1-3: Evolución del diámetro polar del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo monomolecular-Weber. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.

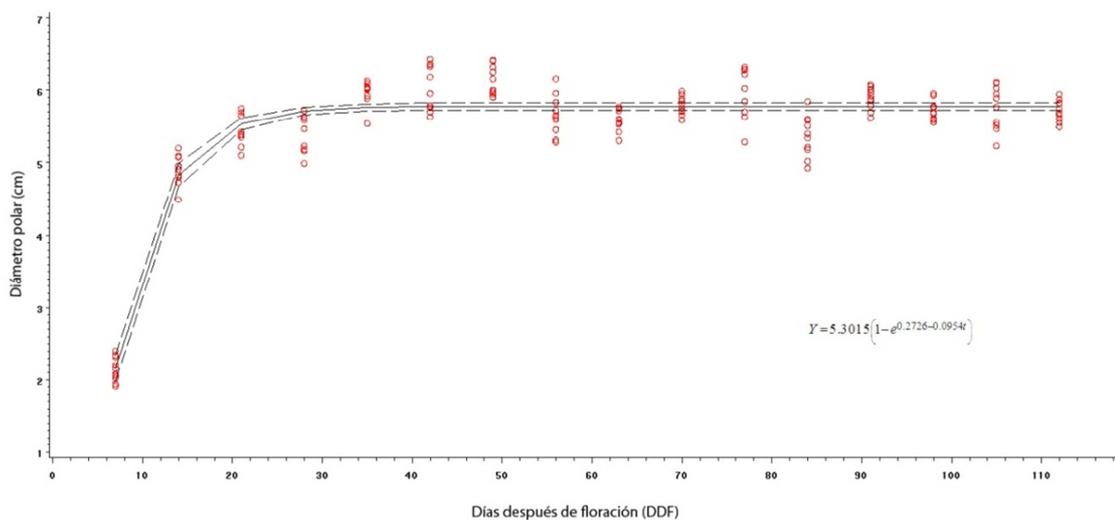


Tabla 1-2: Media y desviación estándar de variables físicas en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), a través del tiempo.

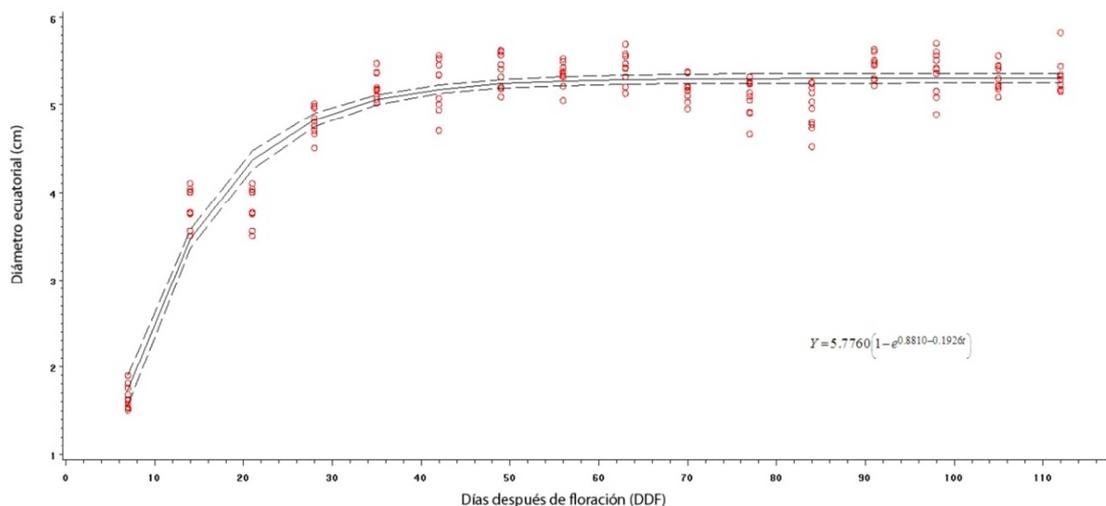
Edad fruto DDF*	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro Polar (cm)	Peso seco (g)
7	1,65 ± 0,13	2,15 ± 0,17	0,21 ± 0,04
14	3,85 ± 0,21	4,91 ± 0,20	1,92 ± 0,23
21	4,72 ± 0,22	5,46 ± 0,22	3,03 ± 0,33
28	4,82 ± 0,17	5,43 ± 0,26	3,66 ± 0,71
35	5,21 ± 0,15	5,97 ± 0,17	6,33 ± 2,61
42	5,25 ± 0,30	6,05 ± 0,31	5,91 ± 0,76
49	5,40 ± 0,19	6,14 ± 0,20	6,40 ± 1,76
56	5,34 ± 0,14	5,66 ± 0,28	7,66 ± 0,86
63	5,42 ± 0,17	5,58 ± 0,15	7,89 ± 0,89
70	5,19 ± 0,15	5,79 ± 0,13	9,49 ± 0,91
77	5,08 ± 0,21	5,94 ± 0,34	9,66 ± 0,97
84	4,96 ± 0,25	5,36 ± 0,28	9,88 ± 1,13
91	5,44 ± 0,14	5,89 ± 0,15	11,78 ± 1,32
98	5,37 ± 0,26	5,72 ± 0,14	10,57 ± 1,95
105	5,33 ± 0,15	5,76 ± 0,30	12,20 ± 1,07
112	5,32 ± 0,20	5,72 ± 0,15	12,03 ± 0,74

*Días después de floración

1.5.3 Diámetro ecuatorial

El crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto presentó un comportamiento sigmoideal, al igual que lo señalado en gulupa por Shiomi *et al.* (1996), en frutos de mayop (*P. incarnata* L) y maracuyá morado por Arjona *et al.* (1991) y maracuyá amarillo por Villanueva *et al.* (1999) y Gómez *et al.* (1999). En las especies relacionadas, la fase exponencial ocurre entre los siete y 15 días después de la antesis, según el ambiente donde crecieron los frutos; la velocidad de crecimiento disminuye a partir de esta época y tiende a ser casi constante después de los 20 días hasta la maduración. García (2008) encontró un comportamiento similar en granadilla. El diámetro ecuatorial fue descrito con el modelo monomolecular-Weber, con R^2 pred de 0,91 (Tabla 1-1, Figura 1-4), que se asimila a un patrón de crecimiento sigmoideal, con un comportamiento análogo al del diámetro polar. Los valores de esta variable son similares a los encontrados por Orjuela *et al.* (2011). Sobre el particular, Rodríguez y García (2010) indican que el diámetro y la longitud del fruto, tienen una fase de crecimiento rápido hasta la quinta semana de edad; para luego estabilizarse hasta la décima semana, situación que no concuerda totalmente con lo encontrado en esta investigación. Asimismo, Pinzón *et al.* (2007) constataron que la planta produce frutos entre 50 y 56 mm de diámetro polar y ecuatorial, respectivamente, valores que disminuyen a través del proceso de maduración, lo que difiere de lo notado en esta investigación, donde el diámetro polar (longitudinal) siempre presentó valores superiores a los del diámetro ecuatorial (57 y 53 mm respectivamente). Esto podría deberse a diferencias entre los materiales genéticos empleados en cada investigación.

Figura 1-4: Evolución del diámetro ecuatorial del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo monomolecular-Weber. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.



1.6 Conclusiones

El análisis del crecimiento y desarrollo de los frutos de gulupa, sirve como guía para la programación de prácticas de manejo agronómico como podas, fertilización y riego, con el fin de optimizar la relación fuente-vertedero. No obstante, como en una planta se encuentran frutos en diferentes estados de desarrollo, la demanda promedio será relativamente constante; razón por la cual, las labores agronómicas deberán realizarse con base en el estado de desarrollo de los frutos predominantes.

Con base en el modelo ajustado para el crecimiento del fruto, puede inferirse que después de una floración, la cosecha debe alistarse a partir de los 85 – 90 días después de la expresión de fase fenológica mencionada, ya que los diámetros ecuatorial y polar, y el peso seco tienden a estabilizarse.

Los valores estimados por el modelo explican cada una de las variables determinadas con respecto a las observaciones realizadas en campo; por lo tanto, interpretan de manera adecuada los procesos fisiológicos que se desarrollan en el fruto en cada una de sus edades.

En este estudio se describió el crecimiento del fruto, que se puede considerar como una herramienta a nivel de submodelos, en la futura definición de un modelo que logre simular la producción potencial del cultivo.

1.7 Bibliografía

- AGRONET. 2013. Sistema de estadísticas agropecuarias. Cifras comercio exterior. Exportación. Exportaciones del sector agropecuario. <http://www.agronet.gov.co>; consulta: abril 2013.
- ALMANZA, P. J.; BALAGUERA, H. E. 2009. Determinación de los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinífera* L. bajo condiciones del altiplano tropical en Boyacá. En: Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica 12 (1): 141 - 150.
- ÁLVAREZ, J. G.; GALVIS, J. A.; BALAGUERA, H. E. 2009. Determinación de los cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). En: Agronomía Colombiana 27 (2): 253 – 259.
- ÁNGEL, C; NATES, G.; OSPINA, R.; MELO, C. D.; AMAYA, M. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. En: Caldasia 33 (2): 433 – 451.
- ARISTIZÁBAL, M. 2003. Fisiología vegetal. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 306 p.
- ARISTIZÁBAL, M. 2008. Evaluación del crecimiento y desarrollo foliar del plátano hondureño enano (*Musa AAB*) en una región cafetera colombiana. En: Agronomía 16 (2): 23 – 30.
- ARJONA, H. E.; MATTA, F. B.; GARNER, J. A. 1991. Growth and composition of passion fruit (*Passiflora edulis*) and mayop (*P. incarnata*). En: HortScience 26 (7): 921 – 923.
- AVANZA, M. M.; GIMÉNEZ, L.; MAZZA, S. M.; RODRÍGUEZ, V. A. 2004. Descripción del crecimiento de frutos de naranjo dulce mediante el uso de modelos no lineales. Universidad Nacional del Nordeste. En: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen: A-018. 4 p.
- BAILEY, R. L.; CLUTTER, J. R. 1974. Base-age in variant polymorphic site curves. En: Forest Science 20: 155 - 159.
- BLACKMAN, V.H. 1919. The compound interested law and plant growth. En: Ann. Bot 33 (3): 353 - 360.
- CAÑIZARES, A.; LAVERDE, D.; PUESME, R. 2003. Crecimiento y desarrollo del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santa Bárbara, Estado de Monagas, Venezuela. En: Revista Udo Agrícola 3 (1): 34 - 38.
- CASIERRA, F.; CARDOZO, M. C. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* cv. Quindío) cultivados a campo abierto. En: Rev. Fac. Nal. Agr Medellín 62 (1): 4815 – 4822.

- COOMBE, B. G. 1976. The development of fleshy fruits. En: Ann. Rev. Plant Physiology 27: 207-228.
- COSTA, L. C.; JUNIOR, W. C.; RIBEIRO DO VALE, F. X. 2002. Modelos aplicados en fitopatología. En: Rev. FCA UNCuyo 34 (1): 81 - 92
- CRUZ, M.; FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M. 2010. Caracterización bioquímica, curvas de crecimiento y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en Granada, Cundinamarca. Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Memorias. Resumen. Neiva, Huila, Colombia, p. 109.
- FISCHER, G. 2010. Condiciones ambientales que afectan crecimiento, desarrollo y calidad de las pasifloráceas. Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Memorias. Resumen. Neiva, Huila, Colombia, p. 10 - 22.
- FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, S. 2012. Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 33 – 51.
- GARCÍA M, M. C. 2008. Manual de manejo cosecha y poscosecha de granadilla. Bogotá. Corpoica. 100 p.
- GARCÍA S, F. J. 2010. Inferencia y tiempos de primer paso en modelos de difusión asociados a curvas de crecimiento. Máster Universitario en Estadística Aplicada Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Granada (España). 64 p.
- GÓMEZ P, K.; ÁVILA, E.; ESCALONA, A. 1999. Curva de crecimiento, composición interna y efecto de dos temperaturas de almacenamiento sobre la pérdida de peso de frutos de parchita 'Maracuya' (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). En: Rev. Fac. Agron 25:125-137.
- GONZÁLEZ, D. V.; HERNÁNDEZ, M. S.; HERRERA, A.; BARRERA, J. A.; MARTÍNEZ, O.; PÁEZ, D. 2001. Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) producida en el piedemonte amazónico colombiano. En: Agronomía Colombiana 18 (1-2): 7 – 13.
- HERNÁNDEZ, M. S.; MARTÍNEZ W, O. Cambios morfológicos del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*. var. Tamarillo). En: Revista Comalfi 21 (1): 7 - 13, 1994.
- KIVISTE, A.; ÁLVAREZ, J. G.; ROJO, A.; RUIZ, A. D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria INIA. Forestal 4. Madrid, España. 190 p.
- LEDERMAN, I, E.; GAZIT, S. 1993. Growth, development and maturation of the purple (*Passiflora edulis* Sims) the whole fruit. En: Pesq. Agropec. Bras 28 (10): 1195 – 1199.

- LOBO, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Manizales, p. 27 – 36.
- LÓPEZ, I. L.; RAMÍREZ, A.; ROJANO, A. 2005. Modelos matemáticos de hortalizas en invernadero: Trascendiendo la contemplación de la dinámica de cultivos. En: Revista Chapingo serie Horticultura 11 (2): 257 – 267.
- MANCERA P, J. E.; PEÑA S, E. J.; GIRALDO H, R.; SANTOS M, A. 2003. Introducción a la modelación ecológica. Principios y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia, sede San Andrés, Universidad del Magdalena, Universidad del Valle. 120 p.
- MAZORRA, M. F.; QUINTANA, A. P.; MIRANDA, D.; FISCHER, G.; CHAPARRO DE V, M. 2006. Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* (Solanaceae). En: Acta Biológica Colombiana 11 (1): 69 – 81.
- ORJUELA, N. M.; CAMPOS, S.; SÁNCHEZ, J.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, M. S. 2011. Manual de manejo poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, M. S. Eds. Poscosecha de la Gulupa. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p. 7 – 22.
- ORTIZ, D. C. 2010. Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. 127 p.
- PINZÓN, I. M.; FISCHER, G.; CORREDOR, G. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Agronomía Colombiana 25 (1): 83 – 95.
- POCASANGRE E, H. E.; FINGER, F. L.; BARROS, R. S.; PUSCHMANN, R. 1995. Development and ripening of yellow passion fruit. En: The Journal of Horticultural Science & Biotechnology 70 (4): 573 - 576.
- RODRÍGUEZ, M.; GARCÍA, C. 2010. Poscosecha, procesamiento y análisis nutracéutico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y curuba (*Passiflora tripartita* var *mollissima*). Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Memorias. Resumen. Neiva, Huila, Colombia. p 107.
- RODRÍGUEZ, W.; LEIHNER, D. 2006. Análisis del crecimiento vegetal. En: VILLALOBOS R, E. Editor científico. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Editorial Universidad de Costa Rica. 37 p.
- RODRÍGUEZ, M.; ARJONA, H. E.; CAMPOS, H. A. 2006. Caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. En: Agronomía Colombiana 24 (1): 54 – 61.
- ROJAS, P. C.; PÉREZ G, M.; COLINAS L, M. T. B.; SAHAGÚN C, J.; AVITIA G, E. 2008. Modelos matemáticos para estimular el crecimiento de chile manzano. En: Revista Chapingo serie Horticultura 14 (3): 289 – 294.

- SALISBURY F, B.; ROSS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Mexico. Grupo Editorial Iberoamericana S. A. 759 p.
- SHIOMI, S.; WAMOCHO, L. S.; AGONG, S. G. 1996. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. En: Postharvest Biology and Technology 7 (1 – 2): 161 - 170.
- TAPIA, L.; BASTÍAS, E.; PÉREZ, E. 1993. Formulación de un modelo generalizado para la determinación de las curvas de desarrollo de calibres de aceitunas, Valle de Azapa, I Región (Chile). En: IDESIA 12: 71 – 78.
- TAPIA, M. L.; LÓPEZ, X. I.; GALLETI, L.; BERGER, H. 1998. Caracterización del crecimiento y desarrollo del fruto de melón (*Cucumis melo* var. *Reticulatus* Naud.) cv. Topscore. En: Agricultura Técnica (Chile) 58 (2): 93 - 102.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA AGRICULTURE & NATURAL RESOURCES. 2013. Weather, models, & degree-days. <http://ipm.ucdavis.edu/WEATHER/index.html>; consulta: abril 2013.
- VILLANUEVA A, R.; EVANGELISTA L, S.; ARENAS O, M.L.; DÍAZ P, J.C.; Y BAUTISTA B, S. 1999. Evaluación de la calidad del jugo de maracuya (*Passiflora edulis*) durante el crecimiento del fruto. En: Revista Chapingo Serie Horticultura 5 (2): 95 - 101.
- VILLEGAS, J. R.; GONZÁLEZ, V. A.; CARRILLO, J. A. LIVERA M, M.; SÁNCHEZ DEL C, F.; OSUNA E, T. 2004. Modelos empíricos del crecimiento y rendimiento de tomate podado a tres racimos. En: Fitotecnia Mexicana 27 (1): 63 – 67.

Capítulo 2

Caracterización fisicoquímica de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en precosecha y poscosecha, producidos bajo las condiciones ecológicas del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Physical and chemical characterization of gulupa fruit (*Passiflora edulis* Sims), during ripening and postharvest in the ecological conditions of lower montane rain forest of Colombia.

2.1 Resumen

La demanda de productos frutihortícolas gana cada vez más posición en la dieta de la población mundial porque aportan componentes importantes no sólo para la correcta alimentación sino también como fuentes suplementarias de metabolitos que ayudan a mantener una buena salud. En general, los denominados “frutales alto-andinos”, se consideran como frutos agradables con acogida creciente por su variedad, colorido y aporte dietario. Estos frutos tienen corta vida poscosecha, con rápido deterioro de los procesos fisiológicos en esta fase, lo cual repercute en la conservación de su calidad. Debido a esto se hace necesario plantear estudios de los procesos fisiológicos que ayuden a entender su metabolismo, con el fin de diseñar estrategias de manejo eficaces. En el trópico alto, se ha reconocido un amplio grupo de especies frutales con posibilidades de desarrollo, dentro de las cuales se menciona la curuba redonda o gulupa (*Passiflora edulis* Sims). El objetivo de esta investigación fue observar la evolución de las variables fisicoquímicas que determinan la calidad del fruto en condiciones del bosque húmedo montano bajo colombiano. Se marcaron flores y se contabilizó la edad del fruto

como días después de floración (DDF), para realizar muestreos destructivos semanales, que permitieran el seguimiento y realización de los diferentes análisis en precosecha y poscosecha. Los resultados obtenidos mostraron que la forma del fruto es ovoide. El espesor de la cáscara y su peso disminuyeron a través del proceso de maduración y también en la poscosecha. La pulpa se empezó a formar después de los 42 DDF y el peso aumentó, para luego disminuir en etapa posterior a la madurez fisiológica. El peso de las semillas y del pH a través del tiempo presentó un comportamiento con tendencia estable. El contenido de sólidos solubles totales (SST) del jugo se incrementó constantemente y la acidez titulable (AT) disminuyó a partir de la novena semana de edad del fruto por lo que el Índice de Madurez (SST/AT) aumentó a partir del 63 DDF. La firmeza medida como la fuerza máxima de penetración del epicarpio tuvo una reducción marcada a partir de los 21 DDF. La humedad exhibió tendencia a la disminución contrario a la pérdida fisiológica de peso en poscosecha que aumentó a través del tiempo de almacenamiento. Se redujo la sacarosa después de los 91 DDF; mientras que la glucosa y fructosa aumentaron en los días siguientes. El ácido cítrico resultó ser predominante en la pulpa del fruto, con tendencia a disminuir después de los 91 DDF, lo mismo sucedió pero en menor concentración con los ácidos ascórbico, málico y oxálico. Se ajustaron modelos no lineales que lograron describir el espesor y peso de la cáscara, el peso de la pulpa, los sólidos solubles totales y la acidez titulable.

Palabras clave. Frutos tropicales, calidad, características fisicoquímicas, modelos no lineales.

2.2 Abstract

Demand of fruit and vegetable products is gaining more position in the diet of the world's population, not only because provide important components for proper nutrition but also as supplementary sources of metabolites that help maintain good health. In general, so-called "high-Andean fruits" are considered pleasant fruits with increasing acceptance for its variety, colorful and dietary content, being fresh consumption the most common. These fruits have short shelf life, with rapid deterioration of their physiology in this phase of life, which has implications for the conservation of its quality. Because of this it is necessary to design studies of physiological processes to help understand metabolism, in order to design effective management strategies. In the high tropics has been recognized a wide range of fruit species with development potential within which mentions the round curuba or gulupa (*Passiflora edulis* Sims). The objective of this research was to observe the evolution of physicochemical variables that determine fruit quality in conditions of lower montane rainforest in Colombia. Flowers were tagged and recorded the age of the fruit as days after flowering (DAF), for weekly destructive sampling that would allow monitoring and implementation of the various pre-harvest and post-harvest analysis. The results showed that fruit shape is ovoid. The shell thickness and weight decreased through the process of maturation and postharvest. The flesh began to form after 42 DaF and his weight increased and then decreased in postphysiological maturity. The seed weight over time showed a stable trend behavior, similar trend was observed in the pH. The total soluble solids content of the juice increased steadily and titratable acidity decreased from the ninth week of age the fruit so the Maturity Index increased from 63 DAF. The firmness

measured as the maximum force of penetration of the skin of the fruit had a marked reduction from the 21 DAF. Humidity showed a trend towards a decrease, in contrast to physiological weight loss in postharvest which increased over time storage. Sucrose shrank after 91 DAF, while glucose and fructose increased in the following days. Citric acid proved to be the predominant acid in the fruit pulp, with a tendency to decrease after 91 DAF, the same thing happened but in lower concentrations with ascorbic acid, malic acid and oxalic acid. Nonlinear models were fitted to describe the thickness and shell weight, the weight of pulp, total soluble solids and titratable acidity.

Key words: Tropical fruits, quality, physicochemical characteristics, nonlinear models.

2.3 Introducción

Existe la tendencia mundial hacia un mayor consumo de frutos y hortalizas, componentes importantes de la alimentación humana, por su aporte de vitaminas, minerales y fibra y por el papel nutracéutico que representan para ayudar a mantener una buena salud; esto también es motivado por la creciente preocupación por una dieta equilibrada, con menor cantidad de carbohidratos, grasas y aceites y con una mayor participación de vegetales. Este cambio se da debido a las menores necesidades calóricas de la vida moderna, caracterizadas por un mayor “*comfort*” y sedentarismo; otro factor que determina este comportamiento, es la mayor conciencia de la importancia de la dieta en la salud y longevidad (López, 2003).

Los denominados “frutales alto-andinos”, se consideran como frutos agradables y de alta demanda por los consumidores; la comercialización en fresco es la más común. Estos frutos tienen corta vida poscosecha, con rápido deterioro de su fisiología en esta fase, lo cual repercute en su calidad y hace necesario plantear estudios de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que la caracterizan. En el área Andina se han reconocido un amplio grupo de especies frutales con posibilidades de desarrollo dentro de las cuales se menciona la curuba redonda o gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de la cual en el año 2002, se contaba con 22 accesiones de colectas de la zona Andina colombiana (Lobo, 2000; Lobo *et al.*, 2002).

La evolución de los compuestos de los frutos ha sido estudiada durante la maduración y poscosecha de numerosas especies desde diferentes tópicos, entre las que se pueden citar tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav Sendt), mora (*Rubus* spp), guayaba (*Psidium guajava* L), piña, (*Ananas comosus* L.) pitaya (*Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose), melón (*Cucumis melo* L), maracuyá (*Passiflora edulis* Sims var flavicarpa), zapote negro (*Diospyros digna* Jacq), lulo (*Solanum quitoense* Lam) y rambután (*Nephelium lappacerum* L), entre otras; con el fin de entender el comportamiento en poscosecha de estos productos para mantener la mejor calidad de consumo y aprovechar sus condiciones nutracéuticas como nuevo valor agregado (Araujo *et al.*, 1997; Pinzón, 2000; Silva y Mercadante, 2002; Ordóñez *et al.*, 2004; Villanueva *et al.*, 2004; Arellano *et al.*, 2005; Kafkas *et al.*, 2006; Menéndez *et al.*, 2006; Márquez *et al.*, 2007; Saradhuldhat y Paull, 2007; Centurión *et al.*, 2008; Yingsanga *et al.*, 2008), pero hasta ahora se dispone de poca información para muchos frutos con potencial económico en las zonas tropicales; por lo cual su manejo en poscosecha es deficiente y las pérdidas en este eslabón de la cadena productiva, se consideran altas.

En una revisión del género realizada por Dhawan *et al.* (2004), relacionada a su morfología, microscopía, usos tradicionales, fitoconstituyentes, datos farmacológicos, aplicaciones en medicina y toxicología, en cuanto a *Passiflora edulis*, Sims mencionan presencia de glicósidos, fenoles, alcaloides, carotenoides, L ácido ascórbico, antocianinas, γ lactonas, aromas, aceites volátiles, aminoácidos, carbohidratos, minerales, enzimas y triterpenos.

Bernacci *et al.* (2008) realizaron una revisión de la taxonomía del maracuyá basados en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica y el Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas. De acuerdo con la convención promovida por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), varios colores como amarillo claro, amarillo, amarillo naranja, rojo-rosado, rojo, rojo-morado, verde-morado, morado y morado oscuro, se pueden reconocer para la adecuada caracterización de cultivares de maracuyá dentro de la especie *Passiflora edulis* Sims. Por lo tanto, el nivel taxonómico *Passiflora edulis* Sims, se puede usar para cualquier planta y color de fruto de maracuyá, en combinación con el nombre del cultivar para los materiales seleccionados.

Ocampo *et al.* (2008) estudiaron con descriptores morfológicos la variabilidad genética de gulupa con orígenes en Colombia, Brasil y Perú; encontraron separación y homogeneidad de las accesiones colombianas con respecto de las de otros países. Bellon *et al.* (2007), en Brasil, mediante marcadores moleculares RAPD (Random amplification of polymorphic DNA), evaluaron accesiones silvestres y comerciales procedentes de Brasil y Australia, e identificaron gran variabilidad genética al considerar las accesiones silvestres y comerciales; así mismo, las plantas de frutos amarillos, presentaron mayor distanciamiento con relación a las de frutos rojos del Brasil y los introducidos de Australia.

La mayoría de estudios realizados en los países productores han utilizado materiales de maracuyá amarillo y púrpura de zonas cálidas; las referencias hacia gulupa, son escasas por lo que se debe caracterizar este material bajo las condiciones colombianas, ya que su composición puede diferir de los maracuyás de tierras cálidas. Un ejemplo de esto se puede observar en la caracterización realizada por la Universidad de West Indies at Mona de Jamaica, en el Departamento de Química, donde compararon el maracuyá amarillo y el morado cultivado en zonas bajas y determinaron diferencias en su composición (Tabla 2-1). En maracuyá también se han encontrado colorantes, alcaloides y volátiles (Universidad de West Indies, 2013; Dhawan *et al.* 2004), en tanto que en estudios realizados por Pruthi (1963), indicaron que frutos maduros de maracuyá púrpura cosechados cada quince días en un mismo huerto, mostraban diferencias altamente significativas, en todas las características físico químicas, excepto en los azúcares reductores. El mismo autor manifiesta que la composición química del fruto de maracuyá, varía ampliamente y se afecta por factores como variedad, grado de madurez, estado de la planta, época de cosecha, condiciones de clima y el sitio de cultivo.

Tabla 2-1: Caracterización química de maracuyá *Passiflora edulis* Sims

Cultivar	Azúcares (%)			Ácidos (%)		
	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	Cítrico	Málico	Láctico
Morado	33,5	37,1	29,4	13,1	3,86	7,49
Amarillo	29,4	38,1	32,4	55,0	10,55	0,58

Fuente: Universidad de West Indies at Mona de Jamaica Departamento de Química <http://www.mona.uwi.edu/chemistry/lectures/fruits/passion/www.mona.uwi.edu>.

En los frutos gran parte de su peso fresco está representado en su contenido de agua, como consecuencia, exhiben una actividad metabólica alta cuando se comparan con otras fuentes alimenticias como los granos. Esta actividad continúa en la poscosecha lo que hace a estos órganos productos altamente perecibles, con corta vida útil y dificultades para el transporte y la comercialización. El conocimiento de las características físicas, químicas, y fisiológicas de los frutos es limitado, esto ocasiona grandes pérdidas en el eslabón de la poscosecha, comercialización y aprovechamiento industrial y pone de manifiesto la necesidad de determinar el comportamiento fisiológico de los frutos durante su crecimiento, maduración y poscosecha, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento del frutal, de solucionar los problemas de la falta de oferta tecnológica en poscosecha, así como el mejoramiento de técnicas de manipulación que pueden obtenerse de un mejor entendimiento de la bioquímica de la maduración de los frutos (Tucker, 1993; Jaramillo *et al.*, 2000).

La cosecha del fruto se hace directamente de la planta al “tanteo” por no disponerse de indicadores para tal fin, como estados de maduración, coloración, tamaño, peso e índices de madurez (Pinzón *et al.*, 2007); además, se desconoce su comportamiento fisiológico en poscosecha. Pinzón *et al.* (2007), con frutos provenientes del municipio de Venecia (Cundinamarca, Colombia), proponen una escala de color con siete grados y recomiendan como momento óptimo de cosecha, el estado tres de esta escala; anotan también que la planta produce frutos entre 50 y 56 mm de diámetro longitudinal (polar) y ecuatorial, respectivamente que disminuyen a través del proceso de maduración, al igual que el grosor y la firmeza del epicarpio, el peso máximo total del fruto se alcanza en el estado de maduración cero (0), con 55,8 g y el máximo valor para el peso del mesocarpio se obtiene en los estados tres (3), y cuatro (4), con 27,3 g. Shiomi *et al.* (1996 b) manifiestan que se puede cosechar en el estado verde maduro, utilizar transporte a baja temperatura, para mercadear a diferentes distancias y exportar, en este caso se podría aplicar etileno varios días después de la cosecha en el lugar de destino, que induce el desarrollo del color de la piel para la comercialización al consumidor final. Ceballos *et al.* (2002) encontraron en curuba (*Passiflora mollissima*), especie relacionada con gulupa, que la madurez fisiológica se da entre los 72 y 97 días después de floración (DDF), según el material, resultado similar al determinado en gulupa por Shiomi *et al.* (1996 a).

En la etapa de cosecha, tras la separación del fruto de la planta madre, estos no reciben el suministro normal de agua, minerales, moléculas orgánicas como azúcares y hormonas; sin embargo, la mayoría de los tejidos son capaces de transformar los constituyentes presentes y estos procesos fisiológicos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para la calidad del producto; además, su intensidad determina la vida en poscosecha del vegetal. El crecimiento y maduración fisiológica del fruto se completan

cuando permanece unido a la planta, pero la maduración organoléptica y la senescencia pueden continuar cuando se separan de la planta madre (Wills *et al.* 1984; Haard, 1985).

El ablandamiento es una parte integral de la etapa de maduración de casi todos los frutos y la alteración de la estructura intercelular y la degradación del material de la pared celular compuesta de celulosa, hemicelulosa y material péctico, parece ser un evento temprano que se asocia con la solubilización de protopectinas insolubles. El proceso parece implicar principalmente la degradación del material péctico, pero otros eventos de degradación también pueden ser posibles (Leshem *et al.*, 1986), por esto un aumento de la solubilidad de la pectina no es evidencia adecuada de la actividad de la endopoligalacturonasa; debido a que el ablandamiento puede ocurrir por la acción de otras enzimas, o por cambios en ácidos orgánicos, otros agentes quelantes y el pH, en las paredes celulares del fruto (Brady, 1987).

Agregan Giovannoni *et al.* (1989), que la depolimerización de la pectina por la actividad de endopoligalacturonasa, por sí sola no es suficiente para influir sobre la textura y Miller (1986) y Fry *et al.* (2001) informan que las especies reactivas de oxígeno (ERO) desempeñan un papel en la degradación de la pared celular. Estos procesos, aparentemente constituyen el mecanismo principal para la pérdida en la textura de frutos, son importantes desde el punto de vista biológico porque implican cambios en la pared celular que no se observan en la senescencia de las hojas, pues parece que ocurren sólo en el fruto; probablemente en zonas de abscisión (Brady, 1987); desde el punto de vista comercial son importantes, debido a que la vida después de la cosecha se limita, en gran medida por el aumento del ablandamiento, lo que ocasiona el incremento de la susceptibilidad a daños físicos y fitosanitarios durante este período (Leshem *et al.*, 1986; Brady, 1987).

Los carbohidratos constituyen la mayor parte de la materia sólida de los productos frutihortícolas, varían desde 2% a 40% del peso total, según el vegetal y representan casi 75% de su peso seco. El almidón es el principal carbohidrato de los tejidos de las plantas que no está presente en paredes celulares; su metabolismo es importante en los cambios de muchos vegetales durante la poscosecha y su presencia es muy baja en frutos maduros. Durante la maduración los frutos aumentan la concentración de azúcares, además, por hidrólisis de almidón dentro del fruto o el suministro desde otras partes de la planta, la sacarosa, oligosacárido predominante, se hidroliza a hexosas, principalmente fructosa y glucosa. La sacarosa y los azúcares reductores varían según el tejido y estado de madurez (Haard, 1985; Belitz y Grosch, 1997; Srivastava, 2002).

En frutos climatéricos gran parte del almidón almacenado se convierte en azúcares durante el proceso de maduración. Los procesos enzimáticos asociados a la maduración conducen a incrementar el contenido de azúcares; frutos maduros después de cosechados se vuelven dulces por la presencia de sacarosa y otros azúcares a partir del almidón de reserva. En general en frutos y verduras hay mayor cantidad de glucosa y fructosa que sacarosa; otros azúcares como xilosa, manosa, arabinosa, galactosa, maltosa, sorbosa, octulosa y celobiosa, también se encuentran en los tejidos de las plantas. Los azúcares están en concentración de 5% a 18% según especies, variedades y grado de maduración (Wills *et al.* 1984; Haard, 1985; Primo, 1998).

El proceso de maduración conduce al aumento de los sólidos solubles y a la disminución de la acidez del fruto. El sabor dulce es el resultado de la liberación de azúcares simples

a partir de almidón o de otros hidratos de carbono de reserva y la interconversión de los azúcares liberados (Leshem *et al.*, 1986). Los azúcares en especial la sacarosa, son transportados a las células de los órganos de las plantas para la síntesis de celulosa, almidón y otros polisacáridos. Los polisacáridos celulosa, hemicelulosas, pentosas y otras sustancias pécticas constituyen los materiales estructurales que envuelven los depósitos de almidón, fructanos, sacarosa y los productos de hidrólisis. Las pectinas de las paredes celulares y de los espacios intercelulares, influyen sobre todo en la textura y consistencia de los frutos y son las que mayores modificaciones sufren a lo largo de la maduración; las hemicelulosas influyen en la textura y la celulosa es importante como aporte de fibra dietética (Wills *et al.*, 1984; Hodge y Osman, 1985; Belitz y Grosch, 1997; Primo, 1998).

La evolución de los sólidos solubles totales (SST) en gulupa muestra un incremento constante para alcanzar su máximo valor en el estado de maduración tres, propuesto por Pinzón *et al.* (2007), con un valor de 15,91 °Brix; Shiomi *et al.* (1996 a) encontraron el máximo valor a los 80 DDF y Rodríguez y García, (2010) a los 70 DDF. El contenido de SST del jugo se incrementa constantemente desde los 20 DDF hasta la maduración, para alcanzar valores de 14% – 17% en la etapa de poscosecha para luego disminuir (Shiomi *et al.* 1996 a).

En frutos cosechados en estado de maduración verde con inicio de coloración púrpura, la sacarosa es 2,5 veces mayor que la glucosa y la fructosa, pero el contenido de ella decrece durante la maduración con incremento gradual de la glucosa y fructosa (Shiomi *et al.*, 1996 a. Pinzón *et al.*, 2007; Rodríguez y García, 2010; Cruz *et al.*, 2010). Durante la maduración, el contenido de azúcares totales es casi constante y los contenidos de glucosa y sacarosa son similares (Shiomi *et al.*, 1996 b). Menéndez *et al.* (2006) observaron en maracuyá amarillo incremento de SST, debido a la hidrólisis de polisacáridos estructurales; en tanto que la evolución de la sacarosa, disminuyó y la glucosa y la fructosa aumentaron, con más aumento de la glucosa.

El pH en el jugo de gulupa, tiene un comportamiento ascendente que varía de 2,99 a 3,6 según el estado de madurez, al contrario de la acidez, medida con base en el porcentaje de ácido cítrico, la cual disminuye después de los 60 días siguientes a la antesis, con valores de 3,92 al momento de la cosecha (Shiomi *et al.*, 1996 a. Pinzón *et al.*, 2007; Rodríguez y García (2010). En maracuyá amarillo, el pH se mantiene constante y la acidez disminuye (Menéndez *et al.*, 2006).

La acidez del fruto tiene origen en los ácidos orgánicos que están almacenados principalmente en las vacuolas (Leshem *et al.*, 1986). Los componentes aromatizantes del fruto aumentan durante la maduración y en conjunto, principalmente, con los ácidos orgánicos cítrico y málico, se combinan para producir el sabor único y aroma del fruto maduro (Srivastava, 2002). Su acumulación puede ser debida a la captura de intermediarios en el ciclo de los ácidos tricarbónicos, en el proceso de fijación de CO₂ en la oscuridad, la desaminación de aminoácidos y, al parecer por su movilización desde otras partes de plantas; el contenido por lo general disminuye durante la maduración; tal vez, debido a la utilización en la respiración (Leshem *et al.*, 1986). Los ácidos orgánicos en las plantas oscilan entre 0,5% y 13%. La mayoría están en pequeñas cantidades y son intermediarios en el metabolismo básico, sobre todo de los ácidos tricarbónicos. Los ácidos cítrico y málico son los principales y sus proporciones varían según el fruto. La mayor parte de los frutos tienen ácidos orgánicos que superan los necesarios para el

funcionamiento del ciclo de los ácidos tricarbóxicos y otras rutas metabólicas como la vía del ácido glioxílico y la ruta del shiquímico. Algunos de ellos que no están asociados con trayectos metabólicos se acumulan en grandes cantidades en tejidos de plantas, debido a esto, frutos y verduras tienen sabores ácidos y agrios. Las concentraciones varían según el tipo de vegetal (Wills *et al.*, 1984; Haard, 1985; Leshem *et al.*, 1986; Belitz y Grosch, 1997; Primo, 1998).

Los ácidos orgánicos detectados por Shiomi *et al.* (1996 b), durante la maduración de gulupa son el cítrico en concentración ocho veces mayor que el málico, este es también el predominante en maracuyá amarillo (Menéndez *et al.*, 2006). Cruz *et al.* (2010), en varios estados de maduración del maracuyá amarillo, encontraron que en el estado denominado como 0% de maduración, los ácidos cítrico y málico presentaron valores altos y para los estados de maduración 50% y 100% los predominantes fueron los ácidos oxálico y ascórbico; resultado que contrasta con lo obtenido por Shiomi *et al.* (1996 b). La acidez titulable de la gulupa presentó su máximo valor a los 60 DDF seguido por un rápido descenso lo que indica que reúne la calidad de consumo después de los 60 DDF. (Shiomi *et al.* 1996 a). El índice de madurez para gulupa varió de 2,08 a 4,34 para los estados cero y seis respectivamente propuestos por Pinzón *et al.* (2007).

En la poscosecha el comportamiento de los frutos de gulupa cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados a 25 °C mostraron pérdidas de peso en forma lineal, los frutos jóvenes son los que más peso perdieron. La vida en anaquel para frutos cosechados entre 60 y 70 DDF fue menor que la de los cosechados entre los 80 y los 90 DDF (Shiomi *et al.* 1996 a). Gutiérrez (2010) encontró una pérdida de peso en frutos sin empacar hasta del 8%, almacenados a 8 °C durante 40 días y pérdidas entre 2,4%, 0,012% y 0,014%, en frutos almacenados en diferentes empaques. También registró un “pico” de producción de etileno hacia la sexta semana de almacenamiento.

El objetivo de esta investigación fue el estudio de la evolución de las variables fisicoquímicas que determinan la calidad del fruto en condiciones de bosque húmedo montano bajo, con el fin de que se usen para aprovechar las bondades nutracéticas del fruto como estrategia comercial.

2.4 Materiales y Métodos

2.4.1 Ubicación

El cultivo experimental se plantó en el municipio de Rionegro, departamento de Antioquia, Centro de Investigación La Selva de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, ubicado en la latitud norte 6° 7' 49'' y longitud oeste 75° 24' 49'', a 2.090 msnm, con temperatura promedia anual de 17 °C, precipitación promedia anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedia anual de 78%, brillo solar promedio anual de 1.726 horas/año, evapotranspiración promedia anual de 1.202 mm, ubicado en la zona de vida ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB). El trabajo instrumental se realizó en la Universidad Nacional de Colombia, sede

Medellín en el laboratorio de Ciencia de los Alimentos y en el laboratorio de Análisis de Calidad de Corpoica.

2.4.2 Material biológico

El trabajo de campo se hizo en un área experimental donde se estableció al azar una población compuesta por 10 materiales de gulupa, provenientes de los departamentos de Antioquia, Putumayo y Nariño (Colombia), que hacen parte del banco de germoplasma de la nación colombiana, administrado por Corpoica y que según Ortiz (2010), reporta baja variabilidad genética, determinada con marcadores moleculares AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism) y SSRs (Secuencias Simples Repetidas).

Para la obtención de los frutos, se marcaron con hilos de colores, flores que estuvieran en la fases homógama con y sin hercogamia según lo manifestado por Ángel *et al.* (2011), éstos estados se tomaron como día cero de edad del fruto y cada época de muestreo se rotuló como días después de floración (DDF).

2.4.3 Procedimiento experimental

Para todos los análisis se realizaron muestreos destructivos cada siete días a partir de los 7 DDF y hasta los 112 DDF. Las variables químicas se evaluaron a partir de una edad donde se obtuviera jugo lo cual ocurrió a partir de los 49 DDF y se realizó hasta el 112 DDF. Para el estudio de la evolución fisiológica del fruto en poscosecha, se recolectaron frutos a partir del 91 DDF, para realizar el seguimiento cada siete DDF hasta los 21 DDF, épocas que coinciden con las edades de 98, 105 y 112 DDF y que sirvieron para comparar con frutos madurados en la planta y en poscosecha. Los frutos en poscosecha se almacenaron en condiciones ambientales con temperatura de 20 °C y 70% de HR. La unidad de muestreo para cada época considerada estuvo constituida por 10 frutos, que se tomaron al azar en los materiales seleccionados con conformación de muestras balanceadas e independientes; en cuanto al tamaño del fruto, estas se transportaron en caja de poliestireno expandido con hielo seco y temperatura interna de 4 °C aproximadamente.

Para la obtención del jugo, los frutos se cortaron por la zona ecuatorial y con espátula se separó la cáscara de la pulpa, inmediatamente se aisló la semilla de la pulpa, y se pasó por una tela de tul a manera de colador; el jugo se conservó en un recipiente enfriado con hielo. Para las determinaciones de azúcares y ácidos orgánicos el jugo de los 10 frutos se mezcló y luego se tomaron tres muestras para análisis. Las variables a estudiar fueron:

- **Peso de pulpa (endocarpio).** Se registró con una balanza Mettler modelo PE 360[®]; el resultado se registró en gramos.

- **Peso de cáscara (epicarpio mas mesocarpio, Orjuela et al., (2011)).** Se pesó individualmente en una balanza Mettler PE 360[®]; el resultado se registró en gramos.
- **Espesor de cáscara.** Se midió con calibrador L&W Tools[®], el resultado de se registró en cm.
- **Peso de semilla.** Luego de separar la semilla, se tomó el peso con una balanza Mettler modelo PE 360[®], el resultado se registró en gramos.
- **Contenido de humedad.** Previamente se determinó el peso seco de cada fruto, que se obtuvo con el peso individual de los frutos; para ello se usó una balanza Mettler[®] PE 360, expresándose el valor en gramos; luego se llevaron a un horno Venticell[®] 111, a 70 °C, para secarlos hasta obtener peso constante y por cálculo indirecto se obtuvo el valor (Ecuación (2.1)).

$$\text{Contenido de humedad \%} = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso fresco}} 100 \quad (2.1)$$

- **Firmeza.** Se realizó a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) con un texturómetro TA-TX Plus[®], equipado con sonda P/0-25 cilíndrica, con las siguientes condiciones: modo compresión, velocidad pre ensayo 1,5 mm seg⁻¹, velocidad del ensayo 2,0 mm seg⁻¹, velocidad post ensayo 10 mm seg⁻¹, distancia 15 mm.
- **Pérdida fisiológica de peso en poscosecha.** Se determinó por diferencia entre pesos unitarios de frutos en diferentes épocas de poscosecha y su valor se expresó en gramos y porcentaje.
- **pH.** Se cuantificó con un potenciómetro Schott Gerate[®] modelo C6820.
- **Acidez titulable (AT).** Se determinó por el método de titulación potenciométrica (AOAC, 2005). El resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico (Ecuación (2.2)).

$$\text{ácido cítrico \%} = \frac{V_1 N K}{V_2} \quad (2.2)$$

Donde:

V₁ = Volumen de NaOH consumido (mL).

N = Normalidad del NaOH (0,1 meq/mL).

K = peso equivalente del ácido cítrico (0,064 g/meq).

V₂ = volumen de la muestra.

- **Sólidos solubles totales (SST).** Se determinaron según la norma técnica colombiana NTC 4624 (Icontec, 1999). Para ello se colocó sobre el prisma del refractómetro una gota de jugo tomado de la pulpa del fruto; la medida se realizó

en escala de °Brix. El refractómetro utilizado fue un Milton Roy Company® con corrección de temperatura a 20 °C.

- **Índice de madurez (IM).** SST/AT. Se obtuvo a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable.
- **Azúcares.** El contenido de sacarosa, glucosa y fructosa, se determinó mediante análisis por cromatografía líquida (HPLC), según el protocolo modificado de Eyeghé *et al.* (2012). El extracto acuoso se filtró (tamaño de poro 0,45 µm) y se hicieron diluciones en agua supra-pura, antes de la inyección al cromatógrafo. Se utilizó un cromatógrafo Shimadzu® LC-20AD, equipado con un auto inyector SIL-20A /HT, un módulo de comunicación CBM-20A y un detector RID (Refractive Index Detector). La cuantificación de los azúcares se hizo en una columna BIORAD (Aminex HPX-87H, 300 mm X 7,8 mm). Como fase móvil se utilizó ácido sulfúrico 5 mM. La razón de flujo de la fase móvil fue 0,6 mL min⁻¹, a 20 °C y condiciones isocráticas. La identificación y cuantificación de los compuestos se hizo con curvas de calibración para cada uno de los azúcares analizados.
- **Determinación de ácidos cítrico y málico.** El contenido de ácidos orgánicos se realizó según la metodología propuesta por Kelebeck *et al.* (2009), mediante análisis por HPLC. El extracto acuoso se filtró (tamaño de poro 0,45 µm) y se hicieron diluciones en agua supra-pura, antes de la inyección al cromatógrafo. Se empleó un cromatógrafo Shimadzu® modelo LC-20AD, equipado con un auto inyector SIL-20A/HT, un módulo de comunicación CBM-20A y un (PDA) SPD-M20A, calibrado a 210 nm. Las condiciones analíticas fueron flujo 0,3 mL min⁻¹, eluente 0,045 NH₂SO₄ con acetonitrilo 6% (v/v).
- **Determinación de ácido ascórbico.** El contenido de ácido ascórbico, se estableció mediante análisis por HPLC según lo propuesto por Kelebek *et al.* (2009). El extracto acuoso se filtró (tamaño de poro 0,45 µm) y se hicieron diluciones en agua supra-pura, antes de la inyección al cromatógrafo. Se empleó un cromatógrafo Shimadzu® modelo LC-20AD, equipado con un auto inyector SIL-20A /HT, un módulo de comunicación CBM-20A y un (PDA) SPD-M20A, calibrado a 245 nm. La cuantificación del ácido ascórbico se realizó con una columna C-8 (5 µm, 250 mm x 4,6 mm). Como fase móvil se usó ácido fórmico 0,1%. La razón de flujo de la fase móvil fue de 0,8 mL min⁻¹, a 35 °C y en condiciones isocráticas. La identificación y cuantificación se hizo con curvas de calibración elaboradas con diferentes concentraciones de ácido ascórbico.
- **Características fisiológicas del fruto en poscosecha.** Se estudiaron los cambios del fruto a través del tiempo en condiciones ambientales, que tenían una temperatura promedio de 20 °C y humedad relativa de 70%. Se seleccionó una muestra de 100 frutos que se dividieron en grupos de 20 para realizar mediciones hasta senescencia. La edad inicial de los frutos para esta investigación fue de 91 DDF, época en la cual es cosechado con fines de exportación. Los registros se realizaron a los siete, 14 y 21 días, después de la edad de recolección.
- **Procedimiento experimental.** Para analizar el comportamiento de las variables del fruto, como espesor de la cáscara, firmeza, peso de la pulpa, peso del epicarpio, peso de la semilla, SST, pH y acidez, se evaluaron los modelos no

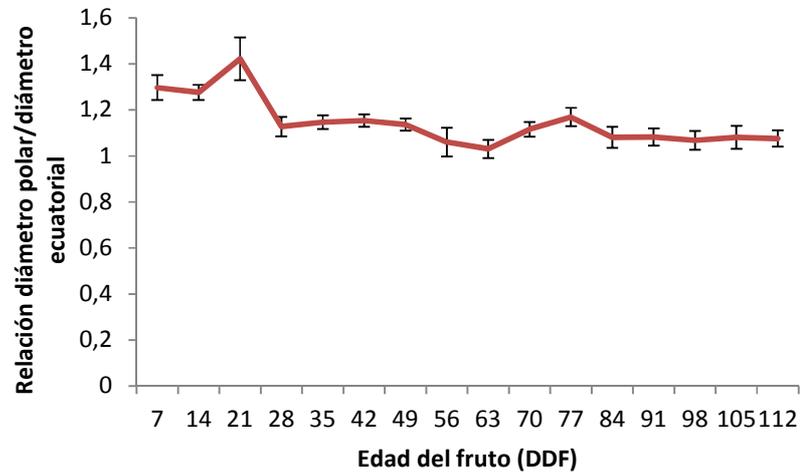
lineales reportados por Kiviste *et al.* (2002): Alométrico, Exponencial, Terazaki, Korf, Gemesi, Korsun, Gram, Sloboda, Verhulst-logística, Wingert, Pearl-reed, Simek, Moiseev III, Monomolecular-Weber, Todorovic III, Var der vliet, Kovessy, Thomasius I, Thomasius II, Bass, Gompertz, Gompertz-wenk, Mitscherlich I, Bertalanffy, Weibull II, Weibull II y Mitscherlich III. Se utilizaron los DDF como variable predictora. Para cada respuesta, se eligió el modelo que brindara mejor ajuste, esto es, una distribución más homogénea de los residuales, mayor coeficiente de determinación de predicción (R^2_{pred}), menor Error Medio Cuadrático, menor Sesgo y menor valor del estadístico PRESS. Se realizaron comparaciones de medias, mediante prueba de t, para variables químicas y componentes del fruto, en muestras con edades equivalentes de frutos madurados en la planta y en poscosecha.

2.5 Resultados y discusión

2.5.1 Forma del fruto

La relación establecida entre el diámetro polar (DP) y el diámetro ecuatorial (DE), ($dp/de = 2,0$ alargado; $dp/de = 1,0$ redondo), hasta los 21 DDF fue mayor de 1,2; lo que indica que el fruto presenta forma elipsoidal. Luego de esta época tendió a estabilizarse durante el período de desarrollo y presentó valores superiores pero cercanos a la unidad (Figura 2-1), hecho que muestra que el fruto adquiere su forma predominante de tipo ovoide; situación similar a la encontrada en gulupa por Orjuela *et al.* (2011). Pruthi (1963) describió la forma de las pasifloras relacionadas con gulupa con formas ovoides para maracuyá púrpura y amarillo y oval-oblonga para granadilla. González *et al.* (2001) advierten que la forma del fruto es una característica de la especie y la variedad. La definición de la forma predominante del fruto es importante en el diseño de empaques apropiados para transporte y exhibición del producto.

Figura 2-1: Evolución de la forma del fruto (relación DP/DE), durante el desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.



2.5.2 Espesor de cáscara

Pinzón *et al.* (2007) y Orjuela *et al.* (2011) manifiestan que el espesor de la cáscara de gulupa, disminuye a través del proceso de maduración y la pulpa ocupa mayor espacio. Los valores reportados por Orjuela *et al.* (2011), para frutos maduros fluctúan entre 0,44 y 0,63 cm, similar a lo encontrado en la presente investigación (Figura 2-2), con valores de 0,47 y 0,54 cm en frutos madurados en la planta. En poscosecha esta variable presentó valores descendentes e inferiores a los observados en frutos sin cosechar que fluctuaron entre 0,29 y 0,12 cm, situación debida a la continuidad de los procesos catabólicos del fruto que conllevan a la pérdida de agua y su imposibilidad de recuperarla. El espesor de la cáscara es un atributo importante para determinar condiciones de manipulación en poscosecha y procesos industriales. Su evolución en el tiempo se pudo describir mediante el modelo de Korsun, con R^2 de predicción de 0,86 (Tabla 2-2 y Figura 2-3).

Figura 2-2: Evolución del espesor de la cáscara durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

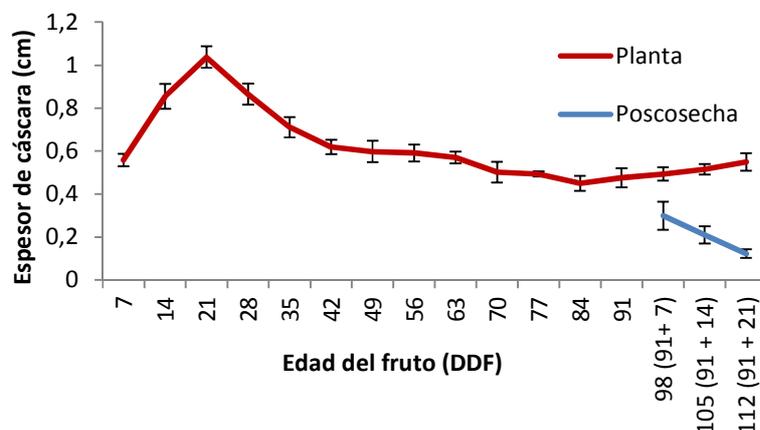
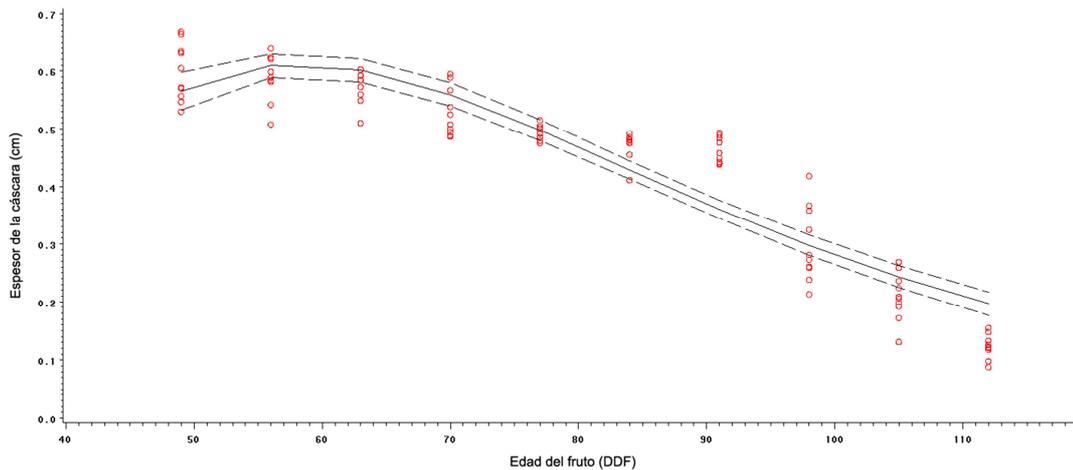


Tabla 2-2: Estimadores de los parámetros del modelo Korsun $Y = e^{a+b \ln(DDF)-c[\ln(DDF)]^2}$ y estadísticos de bondad de ajuste, empleados para el análisis del crecimiento de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).

Variable	Parámetros modelo	$PRESS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i}{1-h_{ii}} \right)^2$	$Sesgo = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$	Error Cuadrático Medio	$R^2_{pred} = 1 - \frac{PRESS}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Espesor de la cáscara	a=-44,2834 b=21,5504 c=2,6513	0,36153	-0,00197021	0,059574	0,86246
Peso de la cáscara	a=-64,1565 b=32,5833 c=3,9237	2475,18	-0,069760	4,89465	0,72302
Peso de la pulpa	a=-34,5045 b=17,3743 c=1,9993	1104,49	0,002084556	3,27538	0,37318
Sólidos solubles totales	a=-4,9386 b=2,7609 c=0,2386	83,4165	-0,00069095	0,94442	0,84961
Acidez	a=-53,7400 b=25,9058 c=3,0305	18,9604	-0,00167111	0,42476	0,75492

Figura 2-3: Evolución del espesor de la cáscara en el fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.



2.5.3 Peso de la cáscara

Presentó tendencia a disminuir posterior al día 63 DDF. Fluctuó en frutos maduros entre 28,9 y 29,9 g (Figura 2-4), valores que se ubican en el límite superior de los resultados encontrados por Orjuela *et al.* (2011), quienes en frutos maduros obtuvieron pesos entre 21 y 28 g. En condiciones de poscosecha, el peso disminuyó constantemente con diferencias altamente significativas al comparar estos frutos con aquellos de edad similar que se dejaron madurar en la planta (Tabla 2-3), este comportamiento es concordante con lo observado en la evolución del espesor de la cáscara en poscosecha, lo que indica la pérdida de peso del fruto a través de procesos catabólicos como se mencionó anteriormente. La evolución del peso de la cáscara en el tiempo se describió mediante el modelo de Korsun, con R^2 pred de 0,72 (Tabla 2-2 y Figura 2-5).

Figura 2-4: Evolución de componentes del fruto durante el desarrollo y poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

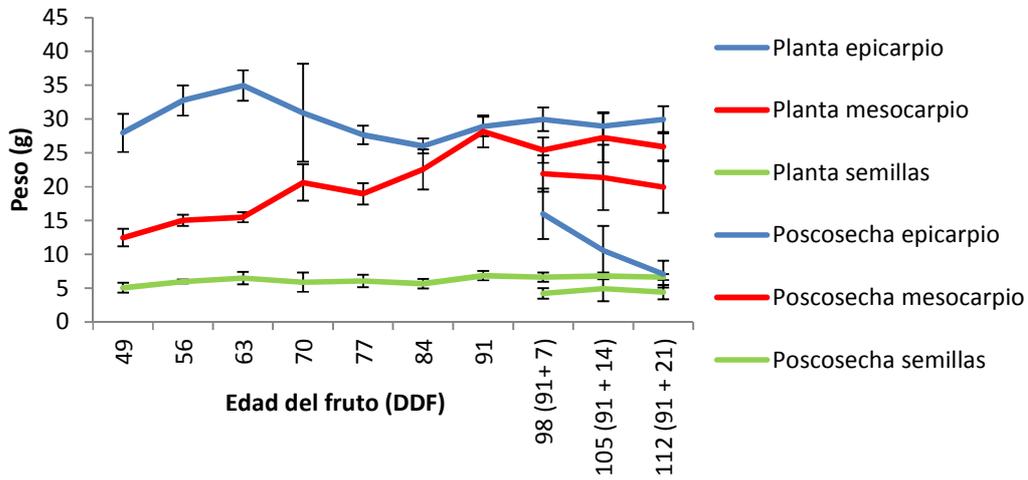


Figura 2-5: Evolución del peso de la cáscara de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.

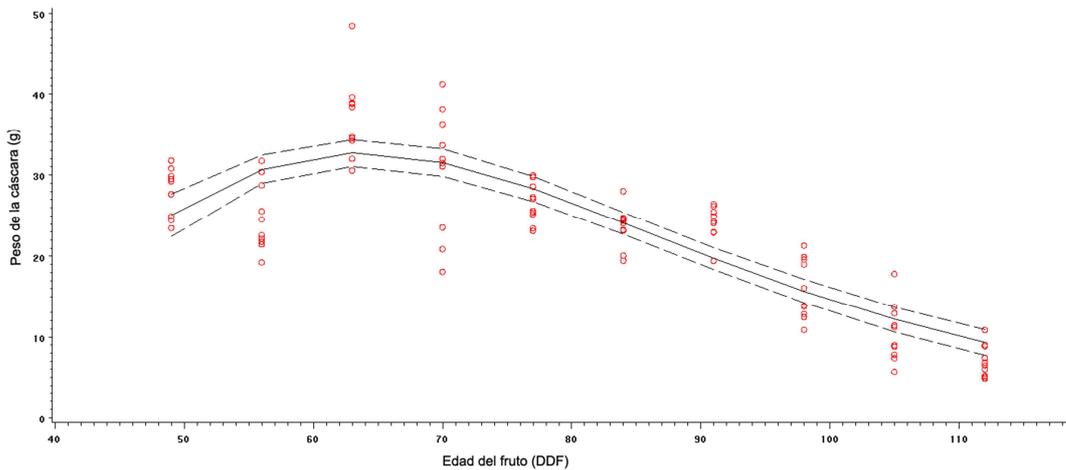


Tabla 2-3: Comparación de medias para componentes del fruto de gulupa (*Pasiflora edulis* Sims), con edades equivalentes, madurados en la planta y en poscosecha.

Edad del fruto (DDF)	Peso promedio (g)		
	Cáscara	Pulpa	Semillas
98 (Planta)	29,38**	25,36**	6,61**
91 + 7 (Poscosecha)	15,99	21,98	4,23
105 (Planta)	28,94**	27,26**	6,76**
91 + 14 (Poscosecha)	10,59	21,35	4,90
112 (Planta)	29,97**	26,60**	6,63**
91 + 21 (Poscosecha)	7,06	19,96	4,41

**Diferencias altamente significativas (0,01), entre grupos de edades por columnas. Prueba T.

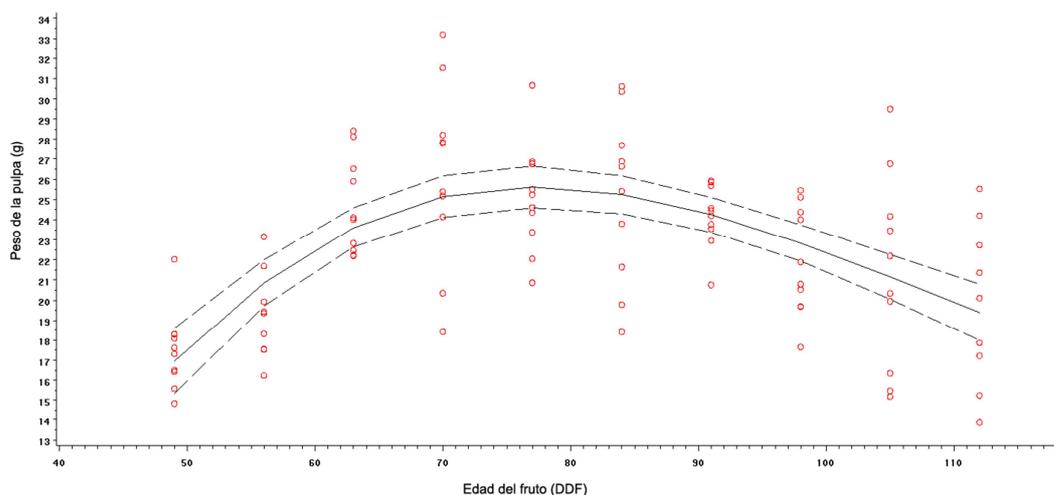
2.5.4 Peso de la pulpa

Shiomi *et al.* (1996 b) observaron que la pulpa de gulupa se empieza a formar alrededor de los 30 DDF, hecho verificado en esta investigación después de los 42 DDF. Se apreció una tendencia contraria a la hallada para el peso de la cáscara, es decir, mientras esta presentó tendencia a disminuir, el peso de la pulpa aumentó (Figura 2-4). Esto indica que la pulpa pasa a ocupar mayor espacio en la constitución del fruto, pero se aclara que en etapas posteriores a 91 DDF, la pulpa presentó tendencia a estabilizarse. Villanueva *et al.* (1999) encontraron que el contenido de la pulpa en maracuyá amarillo presentó una tendencia hacia el aumento, al pasar de 30% - 31% a los 42 DDF a 36% - 39% a los 77 DDF; a su vez Pruthi (1963) documentó contenidos de pulpa de 30,9% en frutos maduros de maracuyá amarillo; situación similar se encontró en gulupa, donde a través del desarrollo del fruto la pulpa se incrementó hasta llegar a la madurez con rendimientos superiores a los expuestos por los investigadores citados; hecho que puede ser corroborado por los resultados encontrados por Arjona *et al.* (1991), quienes manifestaron que según la variedad, se obtienen rendimientos diferentes al observar en maracuyá púrpura, mayor peso de la pulpa al compararla con maracuyá amarillo y mayop (*Passiflora incarnata* L.). En frutos de la familia Pasifloraceae, García (2008) encontró la misma trayectoria ascendente para el incremento de la pulpa de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), tal como se reporta en esta investigación.

Pinzón *et al.* (2007) estimaron el máximo peso de la pulpa en el estado tres (3) y cuatro (4), de la escala de color que ellos propusieron (27,3 g). Orjuela *et al.* (2011) encontraron

datos entre 15 y 26 g para esta variable; similares a los obtenidos en esta investigación que fluctuaron entre 25,3 y 25,8 g en órganos maduros. En poscosecha el peso de la pulpa disminuyó constantemente con diferencias altamente significativas, al comparar estos frutos con aquellos de edad similar que se dejaron madurar en la planta (Tabla 2-3); situación diferente a la mencionada por Villanueva *et al.* (1999), quienes advirtieron incrementos en el contenido de jugo en maracuyá después de cinco días de almacenamiento, en condiciones ambientales; este comportamiento lo atribuyeron a la pérdida de peso del fruto (7,2% a 13,5%). La evolución del peso de la pulpa en el tiempo se pudo explicar mediante el modelo de Korsun, con R^2 pred de 0,37 (Tabla 2-2 y Figura 2-6).

Figura 2-6: Evolución del peso de la pulpa de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.



2.5.5 Peso de las semillas

Aparentemente a los 50 DDF, la semilla casi logra su tamaño final y su evolución a través del tiempo presentó tendencia estable, tanto en condiciones de precosecha como en poscosecha (Figura 2-4), pero con diferencias altamente significativas entre estas dos épocas (Tabla 2-3), que se podrían atribuir al contenido de humedad de las semillas. Orjuela *et al.* (2011) encontraron para esta variable un porcentaje que fluctuó entre los 9% y 11% y Medina *et al.* (2000) 15%; información similar a lo observado en esta investigación tanto en precosecha como en poscosecha. Pruthi (1963) obtuvo porcentajes de semilla de 13,6% en maracuyá púrpura y de 7,4% en maracuyá amarillo.

Se observa en los componentes del fruto una participación porcentual mayor para la cáscara con 47% seguido de la pulpa con 41% y las semillas representan un 11%, concordante con lo expresado por Orjuela *et al.* (2011), para estas variables.

2.5.6 pH

Se constató que el pH tiende a mantenerse estable (Figura 2-7), tal como lo indican Menéndez *et al.* (2006), en maracuyá amarillo. En gulupa, otros autores detectaron un comportamiento ascendente que varió de 2,9 a 3,6, según el estado de madurez (Shiomi *et al.*, 1996 a; Medina *et al.*, 2000; Pinzón *et al.*, 2007; Gutiérrez, 2010 y Jiménez, 2010 Flórez *et al.*, 2012), en esta investigación los registros fueron menores y fluctuaron entre 2,6 a 2,8 y están dentro de las referencias aportadas. La evolución del pH se puede asimilar a lo expresado por Menéndez *et al.* (2006), para maracuyá amarillo, quienes sugieren la presencia de un sistema de autorregulación, que podría ser el resultado de un efecto amortiguador del ácido cítrico, el cual tiende a convertirse en la sal correspondiente, por lo que tiende a mantenerse constante. Pruthi (1963) informa que el pH fluctúa entre 2,82 y 3,3 en maracuyá púrpura y amarillo, valores mayores a los registrados en esta investigación. La confrontación de promedios entre frutos madurados la planta y en condiciones de poscosecha mostró diferencias entre los valores de pH (Tabla 2-4), más altos para frutos madurados en la planta que para los observados en poscosecha hasta la edad de comparación de 112 DDF.

Figura 2-7: Evolución del pH de la pulpa durante el desarrollo y poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

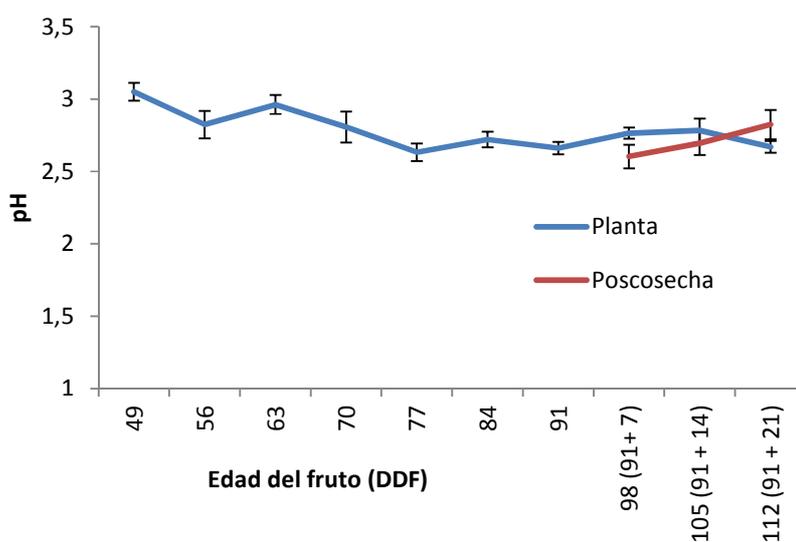


Tabla 2-4: Comparación de medias para variables químicas en jugo de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) madurados en la planta y en poscosecha con edades equivalentes.

Edad del fruto (DDF)	pH	Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez (% ácido cítrico)	Índice de madurez
98 (Planta)	2,74 **	14,6 NS	4,36 **	3,35 **
91 + 7 (Poscosecha)	2,60	15,4	3,80	4,05
105 (Planta)	2,78*	15,6 NS	4,41**	3,56 **
91 + 14 (Poscosecha)	2,70	15,7	3,18	4,94
112 (Planta)	2,67**	16,1 NS	4,43**	3,65 **
91 + 21 (Poscosecha)	2,82	15,8	2,87	5,52

** Diferencias altamente significativas (0,01), entre grupos de edades por columnas. Prueba T

* Diferencias significativas (0,05) entre grupos de edades por columnas.

NS no significante.

2.5.7 Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales del jugo se incrementó constantemente hasta alcanzar valores finales de 16 °Brix (Figura 2-8), lo que coincide con lo expuesto por Shiomí *et al.* (1996 a); Medina *et al.* (2000); Pinzón *et al.* (2007); Rodríguez y García (2010); Cruz *et al.* (2010); Jiménez (2010) en gulupa y Menéndez *et al.* (2006), en maracuyá amarillo; quienes citan valores de 13 – 17 °Brix, cuando se realiza la cosecha en estado maduro, por lo que Jiménez (2010) considera que el contenido de SST es una variable importante para identificación del estado de madurez. Se aprecia también que los SST en gulupa son intermedios entre maracuyá y granadilla. El incremento se atribuye a la hidrólisis de polisacáridos tales como el almidón y pectinas, y otros oligosacáridos presentes en la pared celular, hasta sus componentes más simples; los cuales al solubilizarse en la fase acuosa pasan a formar parte del jugo (Menéndez *et al.*, 2006); también los procesos enzimáticos asociados a la maduración conducen a incrementar el contenido de azúcares, por lo que los frutos maduros después de cosechados, se vuelven dulces por la presencia de sacarosa y otros azúcares a partir del almidón de reserva (Wills *et al.*, 1984; Haard, 1985; Primo, 1998).

En gulupa; Pinzón *et al.* (2007) encontraron el máximo valor para los SST en el estado de maduración tres (3), según la escala construida por ellos, con un valor de 15,91 °Brix,

mientras que para Shiomi *et al.* (1996 a), el máximo registro correspondió a una edad del fruto de 80 DDF y para Rodríguez y García, (2010) a los 70 DDF. Villanueva *et al.* (1999) observaron que el contenido de SST en maracuyá amarillo, presentó evolución hacia el aumento, ya que pasó de 9 a 11 °Brix a los 42 DDF hasta 14 - 16 °Brix a los 70 – 84 DDF. Al respecto se precisa que bajo las condiciones de esta investigación, los SST máximos, se obtuvieron a los 112 DDF, para frutos madurados en la planta con 16,1 °Brix y en poscosecha, a los 21 días posteriores a esta, con 15,9 °Brix; este último superior a los observados por Flórez *et al.* (2012), en diferentes zonas de Colombia.

En la etapa de poscosecha, a diferencia de lo registrado en esta investigación y en los resultados expuestos por Gutiérrez (2010), donde se notó un leve incremento; Shiomi *et al.* (1996 a) y Flórez *et al.* (2012) manifiestan que los SST disminuyen. Los SST no presentaron diferencias entre frutos madurados en la planta y en poscosecha (Tabla 2-4), lo cual asegura una buena calidad del fruto. La evolución de los SST en el tiempo se describió mediante el modelo de Korsun, con R^2 pred de 0,37 (Tabla 2-2 y Figura 2-9).

En otras pasifloras como el maracuyá púrpura Arjona *et al.* (1991) informan que la concentración de SST fue de 12,9 °Brix y para maracuyá amarillo de 15,2 °Brix, reportes inferiores a los encontrados en gulupa. A su vez Pruthi (1963) cuantificó SST de 14,4 °Brix para frutos verdes de maracuyá púrpura y 18,7 °Brix en maduros, este último superior al hallado en gulupa en esta investigación.

Figura 2-8: Evolución de los sólidos solubles totales de la pulpa durante el desarrollo y poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

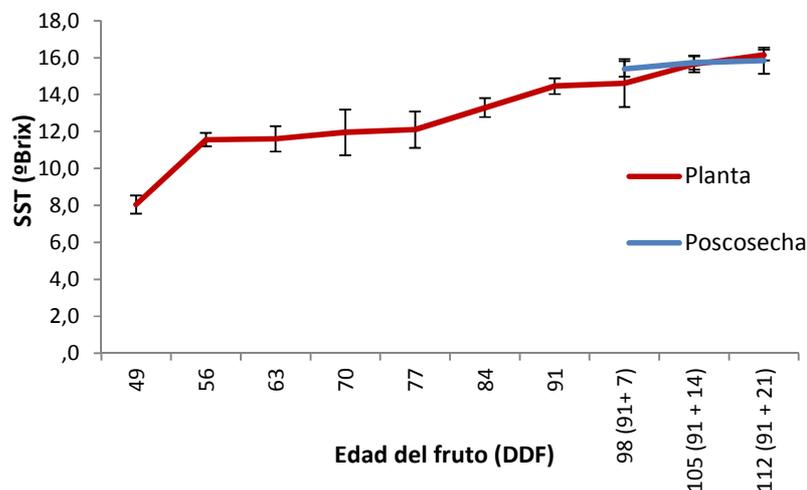
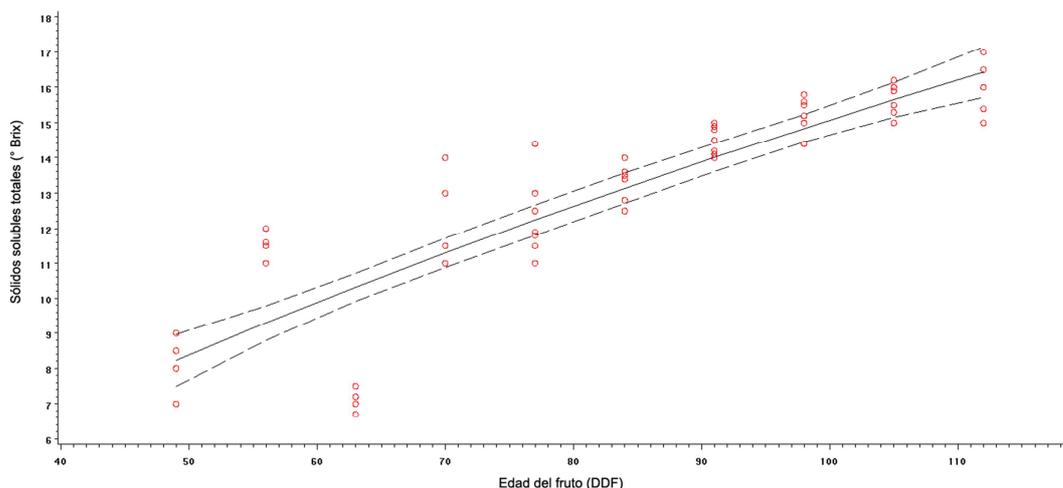


Figura 2-9: Evolución de los sólidos solubles totales de la pulpa de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.



5.5.8 Acidez titulable

Presentó tendencia a disminuir a partir de la novena semana de edad del fruto (Figura 2-10), tal como lo indican Leshem *et al.* (1986); Shiomi *et al.* (1996 a); Rodríguez y García, (2010) y Jiménez (2010). Shiomi *et al.* (1996 a) manifiestan que la acidez titulable presentó su máximo valor alrededor de los 60 días después de anthesis (DDA), seguido por un descenso; ello indica que la calidad de consumo mejora después de esta época, similar a lo encontrado en esta investigación, donde el mayor registro se encontró a los 63 DDF. El comportamiento de la acidez lo explica Wills *et al.* (1984), como consecuencia del consumo de los ácidos orgánicos en el proceso de respiración del fruto o porque son convertidos en azúcares, por lo que se pueden considerar como una reserva energética más de la planta; según esto, se espera que el contenido descienda durante la maduración tal como se observó en esta investigación.

Al comparar la respuesta de esta variable en frutos madurados en la planta y en poscosecha, se observaron diferencias altamente significativas (Tabla 2-4) con valores en poscosecha menores que los observados en frutos madurados en la planta. Lo encontrado es similar a lo señalado por Gutiérrez (2010), quien observó fluctuaciones de 4,4% a 3,1% entre los siete y 21 días después de cosecha; Shiomi *et al.* (1996 a) encontraron registros con tendencia descendente y más bajos. De la misma manera,

Flórez *et al.* (2012), también concluyeron que la acidez de gulupa en poscosecha disminuye a medida que avanza la edad del fruto. Jiménez (2010) asevera que en gulupa, esta es una variable importante en la determinación del estado de madurez verde, debido a que la concentración de ácidos en este estado, es mayor que en los otros. La evolución de la acidez en el tiempo se describió mediante el modelo de Korsun, con R^2 pred de 0,75 (Tabla 2-4 y Figura 2-11).

En maracuyá amarillo Villanueva *et al.* (1999) establecieron que la acidez del jugo mostraba incremento hasta los 56 días DDF, ya que pasó de 5,0% – 5,4% hasta 5,9% – 6,2%; a partir de este momento la trayectoria fue contraria hasta alcanzar valores de 4,5 – 4,8% a los 84 DDF; situación similar a la encontrada en gulupa donde la mayor acidez se ubicó en el día 63 DDF con 5,0% y luego descendió hasta 4,4% en época de cosecha; ello indica que la gulupa es menos ácida que el maracuyá según lo relacionado por Pruti (1963) y Villanueva *et al.* (1999), de 3,6% y 3,1% en frutos verdes y maduros en su orden. Por otra parte, se observó que la acidez de la gulupa es mayor al compararla con otras pasifloras como la granadilla, lo que es coherente con lo expresado por García (2008).

Figura 2-10: Evolución de la acidez titulable del jugo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), durante el desarrollo y poscosecha. Las barras señalan la desviación estándar.

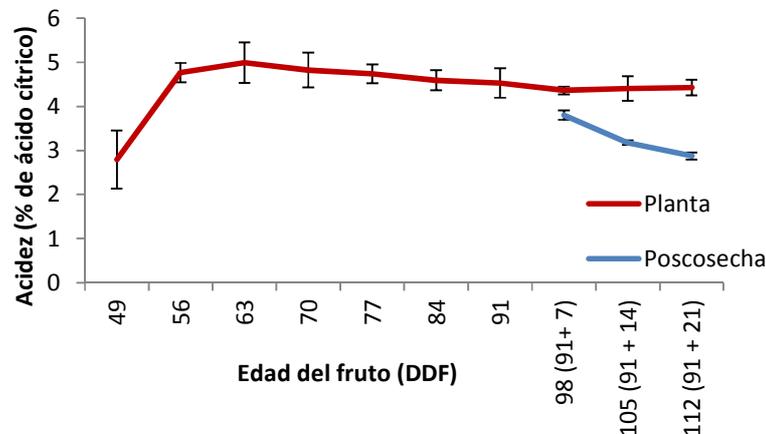
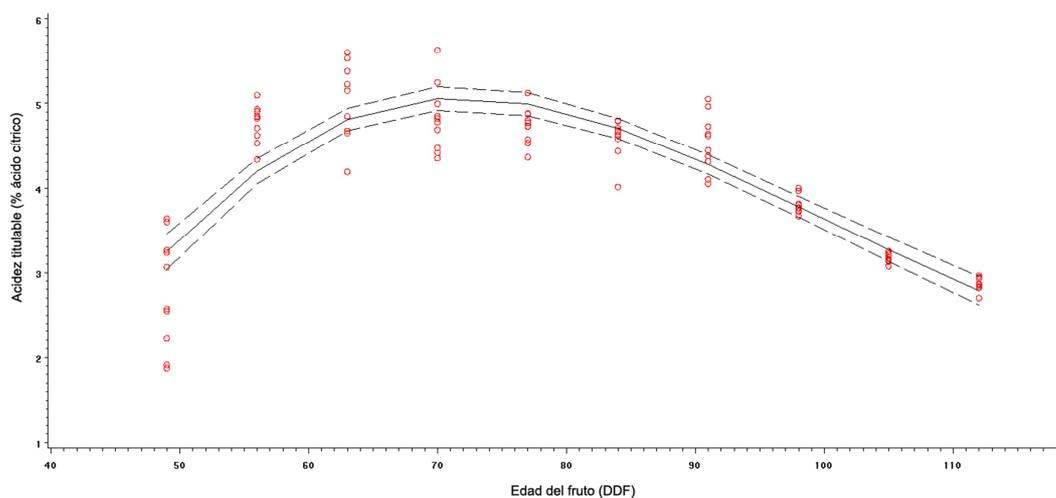


Figura 2-11: Evolución de la acidez titulable del jugo en el fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), según la edad. La línea sólida indica la función estimada del modelo de Korsun. Las líneas punteadas representan los límites de confianza del 95% para los valores esperados. Los círculos señalan los puntos observados.

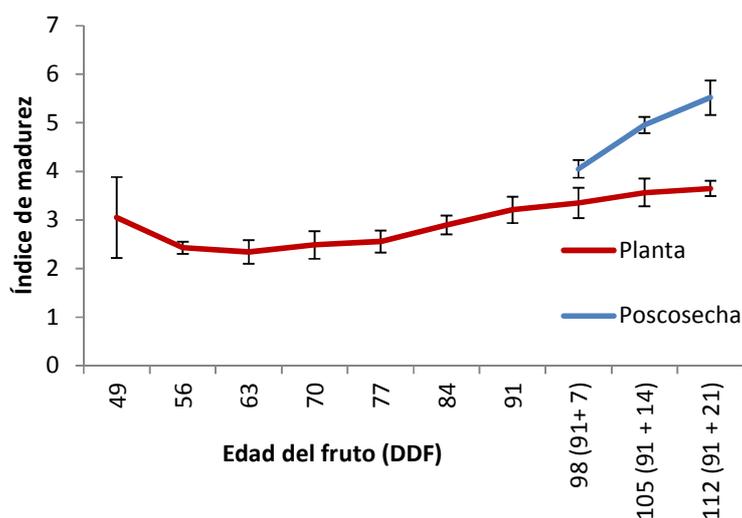


2.5.9 Índice de madurez

Para los frutos madurados en la planta el Índice de Madurez (IM), aumentó a partir del 63 DDF (Figura 2-12), de 2,3 a 3,6 en frutos maduros; información concordante con lo manifestado por Pinzón *et al.* (2007), quienes indican que el IM para gulupa varía de 2,1 a 4,3 para los estados cero y seis respectivamente, de la escala de maduración que ellos propusieron; comportamiento similar encontró García (2008), en granadilla con aumento constante del IM y Villanueva *et al.* (1999), en maracuyá amarillo. La información obtenida refleja que el balance entre los azúcares y los ácidos, le confiere sabor ácido al fruto de gulupa. En poscosecha se observó un comportamiento parecido a lo visto en precosecha pero con valores superiores, semejante a lo encontrado por Flórez *et al.* (2012), que se explica en los cambios derivados de la actividad metabólica asociada a la maduración del fruto. Al respecto Pruthi (1963), en maracuyá púrpura, determinó el IM entre 3,4 y 7,7 y en maracuyá amarillo de 1,9 a 3,0, datos que indican que el maracuyá púrpura tendría un sabor similar a la gulupa y que el maracuyá amarillo tiene sabor más ácido, información corroborada también por Villanueva *et al.* (1999), con IM de 3,4 en frutos maduros y de 3,7 en poscosecha.

La comparación de medias para el IM, entre frutos madurados en la planta y en condiciones de poscosecha mostró diferencias altamente significativas, a favor de frutos en poscosecha, (Tabla 2-4), para cada una de las épocas evaluadas.

Figura 2-12: Evolución del índice de madurez durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

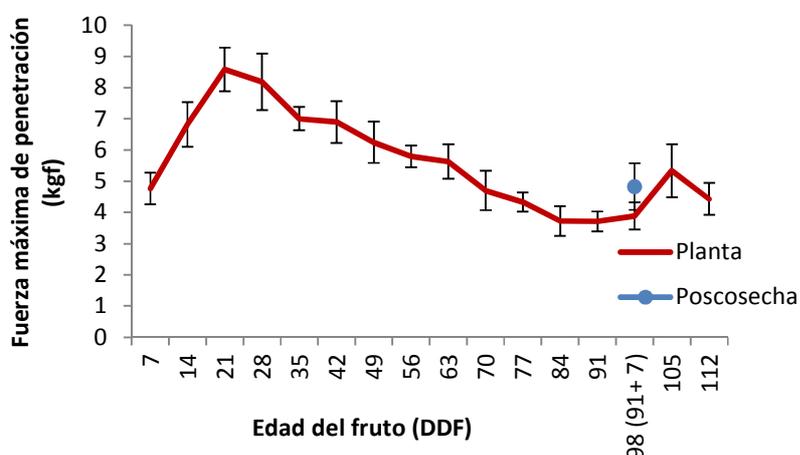


2.5.10 Firmeza

Mostró una disminución marcada a partir de los 21 DDF (Figura 2-13), hasta llegar a 5,3 kgf, hacia los 105 DDF, similar a lo expresado por Rodríguez y García (2010) al observar que la resistencia a la penetración disminuyó después de la cuarta semana hasta 5,1 kgf, en frutos maduros tal como se referencia en esta investigación. Leshem *et al.* (1986), consideran este proceso como un evento temprano asociado con la solubilización de protopectinas insolubles. Esta disminución en la firmeza de la cáscara durante el proceso de maduración, se explica de acuerdo con González *et al.* (2001), por la ocurrencia de cambios en el grosor de la pared celular, como resultado de la disolución de la lámina media y la modificación simultánea de la permeabilidad del plasmalema; ello hace disminuir su selectividad y aumentar los espacios intercelulares, los cuales se llenan de agua y gases, situación que contribuye al ablandamiento de los tejidos. Aunque el proceso parece implicar principalmente la degradación del material péctico, otros eventos de este tipo también pueden ser posibles (Leshem *et al.*, 1986). Giovannoni *et al.* (1989) afirman que la depolimerización de la pectina por la actividad de endopoligalacturonasa por sí sola no es suficiente para influir sobre la textura. El ablandamiento puede ocurrir por la acción de otras enzimas, o por un cambio en la concentración ácidos orgánicos, otros agentes quelantes y el pH en las paredes celulares del fruto. Brady (1987), Miller (1986) y Fry *et al.* (2001) informan que las especies reactivas del oxígeno también desempeñan un papel en la degradación de la pared celular.

A partir de los 105 DDF, se observó tendencia al incremento en la firmeza, lo cual se debe a que el fruto se torna más elástico producto del ablandamiento y por lo tanto los datos registrados por la sonda de penetración son mayores. Esta situación es más evidente después de la cosecha de los frutos, cuando la firmeza (bajo las condiciones establecidas para su registro), sólo fue posible medirla hasta la época denominada como 91 + 7 DDF (Figura 2-13), debido a que en edades superiores del fruto, la sonda no penetró la cáscara del mismo.

Figura 2-13: Evolución de la firmeza durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.



2.5.11 Humedad

Mostró tendencia a la disminución, con humedad inicial del 92% y final de 81%; en edad posterior a los 98 DDF, se observó un descenso mayor (Figura 2-14). Orjuela *et al.* (2011) manifiestan que la gulupa es un fruto rico en agua con porcentaje de humedad alrededor de 90%, tal como se observó en esta investigación, pero diferente a lo reportado por Rodríguez y García (2010) con 55,7%. El contenido de humedad presente en el fruto se explica debido a que el tejido parenquimático, característico de las bayas carnosas, acumula gran cantidad de agua que lo hace succulento (González *et al.*, 2001).

En la fase de poscosecha, se notó un descenso fuerte en el contenido de humedad entre las épocas denominadas 91 + 7 DDF y 91 + 14 DDF, hecho debido al metabolismo catabólico, respiración, en el que se pierde agua, que no es posible recuperar. Al comparar el comportamiento de esta variable en frutos madurados en la planta y en

poscosecha, se observaron diferencias altamente significativas (Tabla 2-5) por lo que se estima que la pérdida de humedad es más crítica en poscosecha.

Figura 2-14: Evolución del contenido de humedad, durante el desarrollo y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

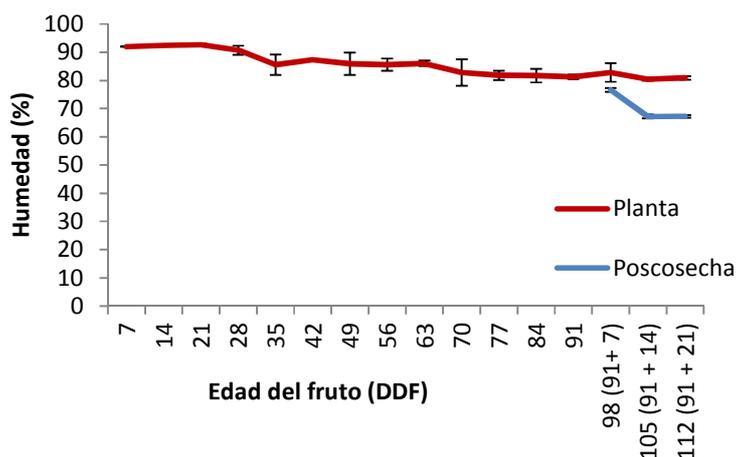


Tabla 2-5: Comparación de medias para el contenido de humedad en frutos de gulupa (*Pasiflora edulis* Sims), con edades equivalentes madurados en la planta y en poscosecha.

Edad del fruto (DDF)	Humedad %
98 (Planta)	82,82 **
91 + 7 (Poscosecha)	76,66
105 (Planta)	80,38**
91 + 14 (Poscosecha)	67,22
112 (Planta)	80,90**
91 + 21 (Poscosecha)	67,26

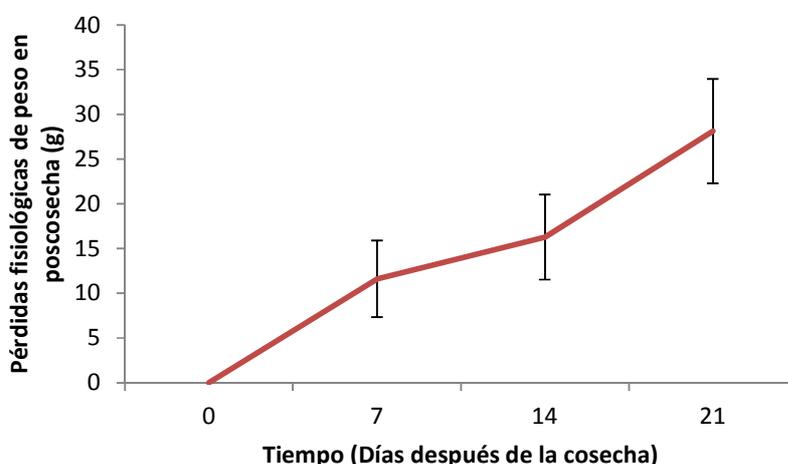
** Diferencias altamente significativas (0,01) entre grupos de edades por columnas. Prueba T

* Diferencias significativas (0,05) entre grupos de edades por columnas.

2.5.12 Pérdida fisiológica de peso en poscosecha

Se apreció un comportamiento ascendente a través del tiempo en los frutos permanecieron en condiciones ambientales (Figura 2-15), coincidente con lo encontrado por Shiomi *et al.* (1996 a) y Sierra *et al.* (2011), en gulupa y Gómez *et al.* (1999) en maracuyá amarillo. Los últimos autores, mencionan una pérdida de peso acumulada de 81,4 g, en 18 días de almacenamiento en bolsa plástica, superior a lo observado en esta investigación; esto sugiere mayor pérdida de peso en maracuyá que en gulupa.

Figura 2-15: Evolución de la pérdida fisiológica de peso en poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras señalan la desviación estándar.

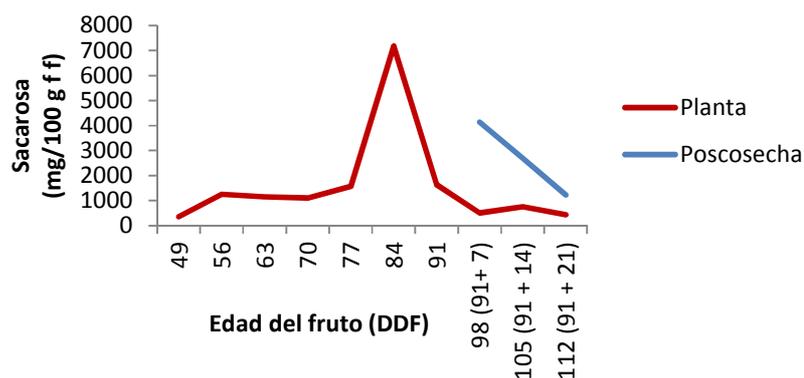


2.5.13 Azúcares

Sacarosa. Presentó el “pico” máximo de acumulación a los 84 DDF (Figura 2-16), época próxima a la recolección del fruto, con valor promedio de 7.170 mg/100 g de fruto fresco (f f), resultado concordante con lo expuesto por Haard (1985); Belitz y Grosch, (1997); Srivastava (2002) y Leshem *et al.* (1986), al exponer que durante la maduración los frutos aumentan la concentración de azúcares por hidrólisis de almidón debido a la acción de la invertasa o por el suministro desde otras partes de la planta. Posterior al “pico” observado, se apreció un descenso que coincidió con el aumento de los azúcares reductores, evolución normal en el proceso de maduración, debido a que la sacarosa se hidroliza a glucosa y fructosa (Haard, 1985; Belitz y Grosch, 1997 y Srivastava, 2002), aspectos que tienen que ver con el ascenso de los sólidos solubles totales, el descenso en la acidez y el aumento del índice de madurez. Lo observado reafirma lo expuesto por Haard (1985) y Belitz y Grosch (1997), al expresar que el contenido de sacarosa varía según el tejido y estado de madurez de los frutos. En este sentido, Wills *et al.* (1984);

Haard (1985) y Primo (1998) afirman que los procesos enzimáticos asociados a la maduración conducen a incrementar el contenido de azúcares por lo que frutos maduros después de cosechados se vuelven dulces, por la presencia de sacarosa y otros azúcares a partir del almidón de reserva.

Figura 2-16: Cambios en los contenidos de sacarosa en la pulpa del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



En frutos de gulupa cosechados en estado verde con inicios de tonalidades púrpura, la sacarosa fue 2,5 veces mayor que la glucosa y fructosa (Shiomi *et al.*, 1996 b), similar a lo encontrado en esta investigación, pero el contenido de sacarosa disminuye durante la maduración, con incremento gradual de la glucosa y fructosa (Shiomi *et al.*, 1996 b. Pinzón *et al.*, 2007; Rodríguez y García 2010; Cruz *et al.*, 2010).

En maracuyá amarillo la evolución de la sacarosa es similar a la de gulupa, según se desprende de lo observado por Menéndez *et al.* (2006), quienes encontraron que la sacarosa disminuye y la glucosa y fructosa aumentan, con incremento más evidente en la glucosa. Se estima que las concentraciones dependen de la variedad, puesto que Arjona *et al.* (1991) informan que el maracuyá amarillo contiene más sacarosa que el tipo morado.

Flórez *et al.* (2012), en frutos con 100% de madurez, determinaron que la sacarosa es el azúcar mayoritario en la gulupa, con contenidos desde 5.424 a 6.590 mg/100 g de pulpa, este resultado se puede comparar con lo obtenido en esta investigación hasta la época en que el fruto alcanzó los 84 DDF, próximo a la recolección, con valor de 7.170 mg/100 g de f f, de esta época en adelante la sacarosa disminuye hasta 423 mg/100 g de f f y las concentraciones finales son inferiores a las de glucosa y fructosa, hecho confirmado por Menéndez *et al.* (2006), en maracuyá amarillo. La variación en los contenidos de sacarosa entre las diferentes investigaciones, parece estar influenciada por factores ambientales como la temperatura, tal como lo sugieren Flórez *et al.* (2012).

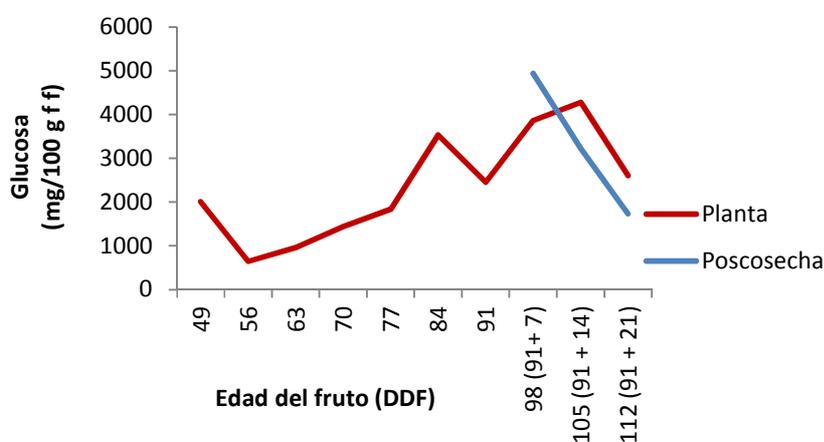
En poscosecha se observó un descenso continuo de la concentración de sacarosa (Figura 2-16), la cual fue menor al final del período en el cual se mantuvieron los frutos en observación, al compararla con las concentraciones de los demás azúcares

reductores y contrario a lo reportado en condiciones de poscosecha por Shiomi *et al.* (1996 b) en gulupa y por Pruthi (1963), en maracuyá púrpura donde fue mayor el contenido de sacarosa.

Glucosa. Mostró dos “picos” de acumulación durante la fase de precosecha (Figura 2-17) el primero, con promedio de 3.530 mg/100 g de f f, coincidió con el “pico” alto de la sacarosa y la época de mayor concentración se inició a partir de los 91 DDF, con promedio de 4.282 mg/100 g de f f, contrario a la sacarosa y con evolución similar a la fructosa, tal como lo encontró Arjona *et al.* (1991) en maracuyá, al notar que la glucosa, tiene tendencia idéntica a la fructosa. Durante el aumento de la glucosa los sólidos solubles y el índice de madurez aumentaron y descendió la acidez. El proceso de maduración conduce al incremento del sabor dulce y a la disminución de la acidez del fruto. El sabor dulce es el resultado de la liberación de azúcares simples a partir de almidón o de otros hidratos de carbono de reserva y la interconversión de los azúcares liberados (Haard, 1985; Leshem *et al.*, 1986; Belitz y Grosch, 1997 y Srivastava, 2002). A partir de los 105 DDF, el contenido de la glucosa disminuyó lo cual indica que frutos madurados en la planta con esta edad entran en fase de senescencia y que, por lo tanto, su época de cosecha debe estar alrededor de los 84 DDF y su consumo debe ser en los 14 días posteriores con el fin de aprovechar la mejor calidad organoléptica del fruto.

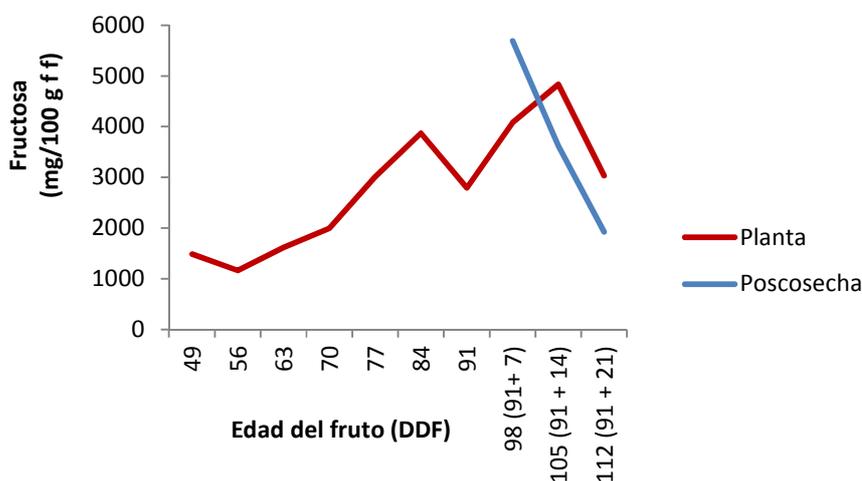
Flórez *et al.* (2012) encontraron en frutos con 100% de madurez, que la glucosa fluctuó entre 1.162 y 1.184 mg/100 g de pulpa, inferior a lo obtenido en esta investigación, hasta que el fruto alcanzó los 84 DDF, con valores de 3.530 mg/100 g de f f; de esta época en adelante la glucosa continúa en aumento hasta los 105 DDF (4.282 mg/100 g de f f), lo que confirma la apreciación sobre las épocas de cosecha y consumo expuestos con anterioridad. Las concentraciones finales de glucosa son inferiores a las de fructosa, hecho que también observaron Flórez *et al.* (2012). En poscosecha la tendencia que mostró la glucosa fue descendente, similar a lo expuesto por Shiomi *et al.* (1996 b).

Figura 2-17: Cambios en los contenidos de glucosa en la pulpa, de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



Fructosa. Presentó comportamiento similar a la glucosa (Figura 2-18), tal como lo indican (Shiomi *et al.*, 1996 b) al manifestar que durante la maduración, los contenidos de glucosa y fructosa son similares. Los resultados encontrados están en concordancia con lo observado por Flórez *et al.* (2012), quienes registraron mayores valores de fructosa en frutos maduros y difieren de lo reportado por Menéndez *et al.* (2006), en maracuyá amarillo donde se apreció que el aumento de la glucosa, es superior al de la fructosa. El mayor valor observado para fructosa ocurrió hacia los 105 DDF con 4.837 mg/100 g de f f, lo que confirma nuevamente lo recomendado para cosecha y consumo. Como se observó en la glucosa, en la fase ascendente de la fructosa, los SST y el índice de madurez aumentaron y descendió la acidez. En poscosecha la fructosa descendió, similar a lo expuesto por Shiomi *et al.* (1996 b). La disminución observada en todos los azúcares en el fruto, está relacionada con procesos respiratorios (Wills *et al.*, 1984).

Figura 2-18: Cambios en los contenidos de fructosa en la pulpa del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



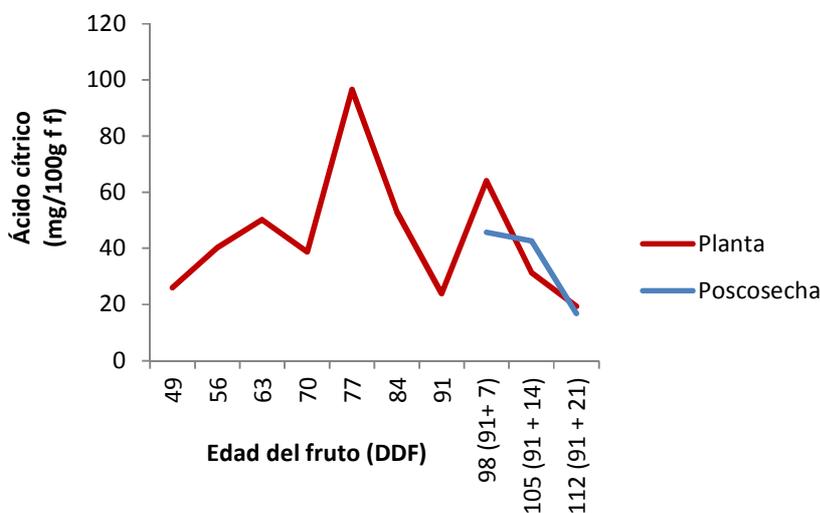
2.5.16 Ácidos

Ácido cítrico. En estados tempranos de maduración del fruto se registraron incrementos con dos picos de máxima concentración, el primero hacia los 77 DDF con 0,097 mg/100 g de f f y el segundo, a los 98 DDF con 0,064 g/100 g de f f (Figura 2-19). El comportamiento observado está de acuerdo con lo informado por Shiomi *et al.* (1996 b), quienes encontraron que el contenido de ácido cítrico fue ocho veces superior al málico en el período de maduración, por lo que se puede afirmar que este es el ácido predominante en gulupa. Este ácido es también el sobresaliente en maracuyá amarillo (Menéndez *et al.*, 2006) y en el maracuyá púrpura (Pruthi, 1963). El contenido de ácidos varía según lo explican Flórez *et al.* (2012), al obtener diferentes concentraciones según

el lugar de origen del material y el estado de maduración; ellos encontraron para ácido cítrico valores entre 2,8 y 5,4 g/100 g de pulpa, superiores a los registrados en esta investigación, que estuvieron en alrededor de 0,064 g/100 g de f f. Cruz *et al.* (2010), en varios estados de maduración en maracuyá amarillo, establecieron que en el estado denominado por ellos como 0% de maduración, los ácidos cítrico y málico presentaron valores altos, similar a lo obtenido en gulupa.

En poscosecha el ácido cítrico disminuyó constantemente y sus valores son similares a los observados en los frutos que maduraron en la planta (Figura 2-19). La evolución de este ácido y de los demás determinados en esta investigación, se ajusta a la opinión de Wills *et al.* (1984), al explicar que son sustratos respirables y al ser la gulupa un fruto climatérico (Flórez *et al.*, 2012), podrían ser utilizados en ese proceso, o convertirse en azúcares. En maracuyá amarillo, el contenido de ácido cítrico después del almacenamiento en condiciones ambientales disminuyó ligeramente con respecto al momento de la cosecha, observación similar a lo apreciado en gulupa; los investigadores atribuyen el menor contenido al proceso de maduración, el cual involucró el descenso de esta variable (Villanueva *et al.*, 1999).

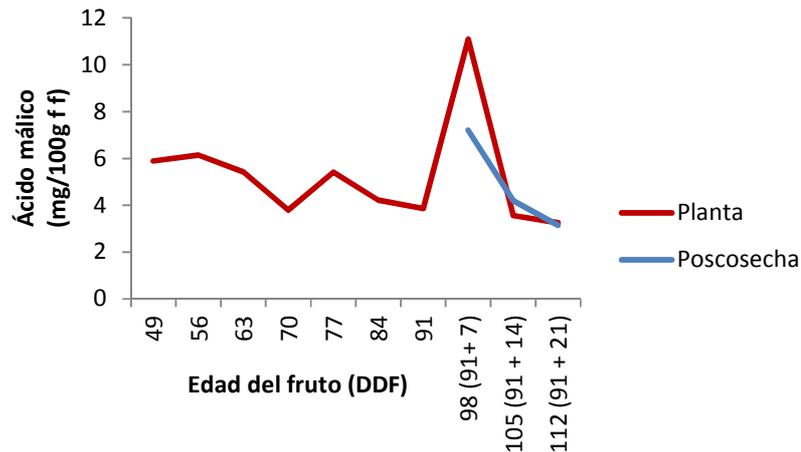
Figura 2-19: Cambios en los contenidos de ácido cítrico en la pulpa del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



Ácido málico. Presentó evolución similar al ácido cítrico pero con menores concentraciones a lo largo del proceso de desarrollo del fruto (Figura 2-20). Lo observado está acorde con lo reportado por Shiomi *et al.* (1996 b), pero difiere de lo encontrado por Flórez *et al.* (2012), quienes apreciaron tendencias ascendentes durante el proceso de maduración con valores entre 0,35 y 0,66 g/100 g de pulpa; superiores a los hallados en esta investigación, que estuvieron alrededor de 0,011 g/100 g de f f. Pruthi (1963) encontró también la presencia de este ácido en maracuyá púrpura en concentraciones menores que el ácido cítrico, tal como se observó en gulupa. Durante la poscosecha la

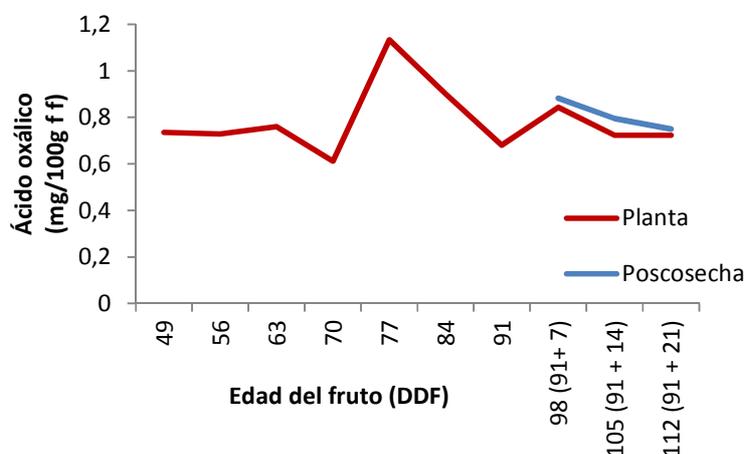
tendencia descendente registrada fue similar a lo señalado por Shiomi *et al.* (1996 b). El descenso en el contenido de este ácido está asociado a su utilización en procesos respiratorios Wills *et al.* (1984).

Figura 2-20: Cambios en los contenidos de ácido málico en la pulpa del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



Ácido oxálico. Su evolución fue similar a las referidas para los ácidos cítrico y málico (Figura 2-21), pero con valores inferiores hasta 77 veces comparados con el ácido cítrico y 13 veces con respecto al ácido málico. Flórez *et al.* (2012) observaron en gulupa valores entre 20,9 y 131,2 mg/100 g de pulpa, superiores a los hallados en esta investigación, con variabilidad en el contenido según el ambiente de procedencia de los frutos. En condiciones de poscosecha el ácido oxálico descendió, similar comportamiento se encontró en los frutos madurados en la planta pero con registros superiores.

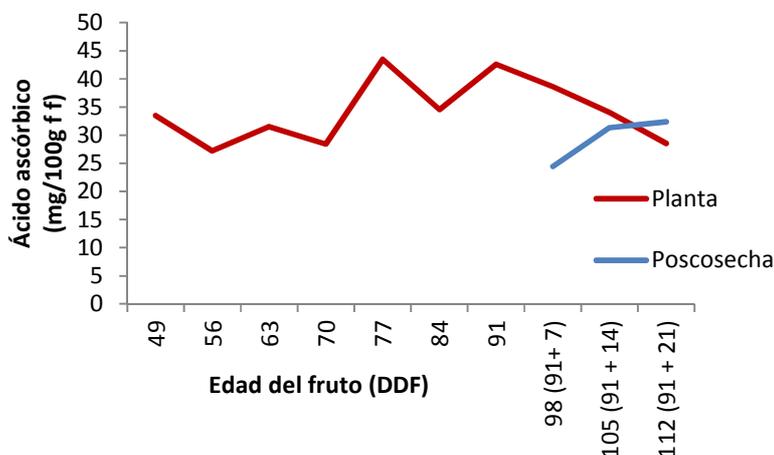
Figura 2-21: Cambios en los contenidos de ácido oxálico en la pulpa del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



Ácido ascórbico. A través del proceso de maduración del fruto, su evolución fue similar a los demás ácidos (Figura 2-22), con cantidades superiores al málico y oxálico y menores al cítrico. Los mayores registros se observaron a los 77 y 91 DDF con valores que fluctuaron entre 43,5 a 42,6 mg/100 g de f f, lo que reafirma la época de cosecha y consumo para este fruto como se ha expuesto anteriormente. A diferencia de los demás ácidos determinados (cítrico, málico y oxálico), en los cuales en esta investigación se tuvieron menores cantidades, al compararlas con las enunciadas por Flórez *et al.* (2012), los niveles de ácido ascórbico de 42,6 mg/100 g de f f en el día de cosecha fueron superiores que los reportados por los investigadores mencionados, que encontraron contenidos para frutos 100% maduros entre 8,5 a 32,81 mg/100 g de pulpa y también mayores al valor de 28,5 mg/100 g de f f determinado por Medina *et al.* (2000). Las pasifloras y entre ellas la gulupa se consideran como buenas fuentes de vitamina C, hecho que según Bliss (2007), clasifica a este tipo de frutos como de buen poder antioxidante.

En poscosecha el contenido de ácido ascórbico disminuyó entre el día de cosecha y los siete días posteriores, para luego aumentar hasta el día 21, lo que coincide con lo afirmado por Flórez *et al.* (2012), en gulupa. Vasco *et al.* (2008) señalan como altos los registros de 30 – 40 mg/100 g de peso seco de frutos para ácido ascórbico, observados en maracuyá amarillo, lo que permite incluir en la categoría mencionada a la gulupa, debido a que presenta guarismos muy similares; pero advierten que otras pasifloras como la curuba tienen mayor cantidad de ácido ascórbico, mientras que en granadilla es menor, además, Pruthi (1963) menciona contenidos de ácido ascórbico en maracuyá púrpura entre 19,9 % y 33,7% para frutos verdes y maduros respectivamente, valores inferiores a los de gulupa, según el ambiente de donde procedan. Shiomi *et al.* (1996 b) y Flórez *et al.* (2012), informan que en completa maduración los ácidos predominantes fueron el oxálico y ascórbico, resultado que contrasta con lo obtenido en esta investigación.

Figura 2-22: Cambios en los contenidos de ácido ascórbico en la pulpa del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



2.6 Conclusiones

El conocimiento de la cantidad y distribución de las biomoléculas características de la maduración del fruto de gulupa, es importante para la construcción de estándares de calidad y normas que ayuden a productores y consumidores a obtener el máximo provecho del producto.

Aunque la gulupa y el maracuyá comparten el mismo nombre científico tienen atributos diferentes en cuanto a su tamaño, peso, pH y acidez que son menores en gulupa. Los sólidos solubles totales son mayores, lo que en conjunto con el nivel de ácidos hacen que este fruto, tenga un sabor característico que lo convierte en una alternativa de consumo en fresco o en jugo.

Las características químicas del fruto de gulupa, indican que la fructosa es el azúcar predominante y que el principal ácido es el cítrico; la concentración de ácido ascórbico, señala que el fruto es buena fuente de vitamina C, hecho que puede ser aprovechado como estrategia comercial, al conocer la época en que presenta mayor contenido.

El inicio del proceso de deshidratación, que conduce al arrugamiento de la cáscara del fruto, cuando se mantiene a temperatura ambiente, empieza alrededor de los 14 días después de cosechado, época en que se recomienda su consumo con el fin aprovechar mejor sus calidades nutricionales y nutraceuticas.

Los modelos no lineales ajustados, explican en forma satisfactoria la evolución de algunas variables fisicoquímicas que pueden servir, para monitoreo de la calidad final de los frutos porque predicen y explican estas variables.

En las condiciones de esta investigación, la recolección de los frutos de gulupa alrededor de los 91 DDF, garantiza que en el proceso de maduración, se expresen en forma adecuada los atributos que contribuyen a la calidad.

Se debe realizar experimentación similar con el fin de precisar como la función productiva, influye en la concentración de metabolitos, importantes para comercializar el fruto por su condición nutracéutica.

2.7 Bibliografía

- ÁNGEL C, C; NATES P, G.; OSPINA T, R.; MELO O, C. D.; AMAYA M, M. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. En: *Caldasia* 33 (2): 433 – 451.
- AOAC.2005. Official Method 942.15. Acidity (Titrable) of Fruit Products. Official method of Analysis of AOAC International, ed. 18. Cap. 37; p.10.
- ARAUJO, F; QUINTERO, S; SALAS, J; VILLALOBOS, J; CASANOVA, A. 1997. Crecimiento y acumulación de nutrientes del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo "Criolla Roja" en la planicie de Maracaibo. En: *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* (14): 315-328.
- ARELLANO G, L. A.; SAUCEDO V, C.; ARÉVALO G, L. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digna* Jacq.). En: *Agrociencia* 39: 173 – 181.
- ARJONA, H. E.; MATTA, F. B.; GARNER JR, J. O. 1991. Growth and composition of passion fruit (*Passiflora edulis*) and mayop (*P. incarnata*). En: *Hort Science*. 26 (7): 921 – 923.
- BELITZ, H. D; GROSCH, W. 1997. Química de los alimentos. 2ed. Zaragoza. Editorial Acribia, 1087 p.
- BELLON, G.; GELAPE F.; PEREIRA J, K.; VILELA J, N. T.; CARVALHO D, E.; FIDELES B, M.; TEXEIRA G, C. 2007. Variabilidade genética de acessos silvestres e comerciais de *Passiflora edulis* Sims com base em marcadores RAPD. En: *Rev. Bras. Frutic* 29 (1): 124 – 127.
- BERNACCI, L. C.; SOARES S, M. D.; VILELA J, N. T.; DA SILVA P, I. R.; MOLINA M, L. M. 2008. *Passiflora edulis* Sims: The correct taxonomic way to cite the yellow passion fruit (and the others colors). En: *Rev. Bras. Frutic* 30 (2): 566 – 576.
- BLISS, R. M. 2007. Datos útiles sobre los antioxidantes alimentarios. United States Department of Agriculture, USDA. <http://ars.usda.gov>; consulta febrero 2013.
- BRADY, C. J. 1987. Fruit ripening. En: *Annu. Rev. Plant. Physiol* 38: 155 - 178.

- CEBALLOS P, A. D.; ARISTIZÁBAL L, J. C.; ALBA T, L.; MÁRQUEZ O, S. M. 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. En: IV Seminario Nacional de frutales de clima frío moderado. Memorias, Medellín. p 93 - 99.
- CENTURIÓN Y, A. R.; SOLÍS P, S.; SAUCEDO V, S.; BÁEZ S, R.; SAURI D, E. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*), durante su desarrollo. En: Fitotecnia Mexicana 31 (1): 1 – 5.
- CRUZ A, M.; FLÓREZ G, L. M.; PÉREZ M, L. V.; MELGAREJO, L. M. 2010. Caracterización bioquímica, curvas de crecimiento y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en Granada, Cundinamarca. En: Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 109.
- DHAWAN, K.; DHAWAN, S.; SHARMA, A. 2004. Passiflora: a review update. En: Journal of Ethnopharmacology 94 (1): 1 – 23.
- EYEGHÉ B, H. A.; ALEXANDERSSON, E. O.; GOUWS, L. M.; YOUNG, P. R.; VIVIER, M. A. 2012. Optimisation of an HPLC method for the simultaneous quantification of the major sugars and organic acids in grapevine berries. En: Journal of Chromatography B 885 – 886. 43– 49.
- FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, S. 2012. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Bogotá. p 53 - 79
- FRY, S. C.; DUMVILLE, J. C.; MILLER, J. G. 2001. Fingerprinting of polysaccharides attacked by hydroxyl radicals in vitro and in the cell walls of ripening pear fruit. En: Plant Mol. Biol 44. 245 – 253.
- GARCÍA M, M. C. 2008. Manual de manejo cosecha y poscosecha de granadilla. Bogotá. Corpoica. 98 p.
- GIOVANNONI, J.; DELLAPENNA, D.; BENNETT, A.; FISCHER, R. 1989. Expression of a chimeric polygalacturonase gene in transgenic rin (ripening inhibitor) tomato fruit results in polyuronide degradation but not fruit softening. En: Plant Cell 153 – 63.
- GÓMEZ P, K.; AVILA, E.; ESCALONA, A. 1999. Curva de crecimiento, composición interna y efecto de dos temperaturas de almacenamiento sobre la pérdida de peso de frutos de parchita 'Maracuya' (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). En: Rev. Fac. Agron 25 (2): 125-137
- GONZÁLEZ, D. V.; HERNÁNDEZ, M. S.; HERRERA, A.; BARRERA, J. A.; MARTÍNEZ, O.; PÁEZ, D. 2001. Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) producida en el piedemonte amazónico colombiano. En: Agronomía Colombiana 18 (1-2): 7 – 13.
- GUTIÉRREZ C, L. A. 2010. Desarrollo de un empaque polimérico con propiedades anti-empañantes apropiado para la comercialización de gulupa (*Passiflora edulis* Sims

- fo. *edulis*). Tesis Magister en Ciencias – Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Bogotá D. C., Colombia. 57 p.
- HAARD, N. F. 1985. Características de los tejidos de las plantas comestibles. En: Introducción a la Ciencia de los Alimentos. Vol 2. Barcelona. Ed Reverté S. A. 418 p.
- HODGE, J. E.; OSMAN, E. M. 1985. Hidratos de carbono. En: Introducción a la Ciencia de los Alimentos. Vol 1. Barcelona. Ed Reverté S. A. 418 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). 1999. Norma técnica colombiana. Jugos de frutas y hortalizas. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico NTC 4624. 9 p.
- JARAMILLO C, B. E., TORRES A, M.L.; PINZÓN F, M. I.; FRANCO, G. 2000. Caracterización y cuantificación de azúcares y ácidos no volátiles en tres materiales de mora (*Rubus glaucus* Benth) por cromatografía líquida de alta eficiencia. 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias, Manizales. P. 330 – 335.
- JIMÉNEZ T, A. M. 2010. Estudio de los cambios físicos y químicos de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims fo. *edulis*) durante la maduración. Tesis Magister en Ciencias-Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Bogotá, Colombia. 80 p.
- KAFKAS, E.; KOŞAR, M; TÜREMIŞ, N; BAŞER, K.H.C. 2006. Analysis of sugars, organic acids and vitamin C contents of blackberry genotypes from Turkey. En: Food Chemistry 97 (4): 732 – 736.
- KELEBEK H, SELLI S, CANBAS A, CABAROGLU, T. 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kosan. En: Microchemical Journal 91 (2): 187 - 192.
- KIVISTE, A.; ÁLVAREZ, J. G.; ROJO, A.; RUIZ, A. D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria INIA. Forestal 4. Madrid España. 190 p.
- LESHEM, Y.; ABRAHAM H. HALEVY, A.; CHAIM FRENKEL, Ch. 1986. Fruit ripening. En: Developments in Crop Science 8 162 – 210.
- LOBO A, M.; MEDINA, C.; DELGADO, O.; ZULUAGA, M.; CARDONA, M.; OSORIO; A. 2002. Recursos genéticos de frutales andinos en el sistema de bancos de germoplasma del Estado Colombiano. En: IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Medellín. p. 43 - 48.
- LOBO, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. En: 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Manizales. p. 27 – 36.

- LÓPEZ C, A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151 Roma. p. 95 – 111.
- MÁRQUEZ C, C. J.; OTERO E, C. M.; CORTÉS R, M. 2007. Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. En: VITAE 14 (2): 9-16.
- MEDINA C, C. I.; LOBO A, M.; CORREA R, R. D. 2000. Caracterización morfológica y química de pasifloras andinas como apoyo al desarrollo de estas especies. En: 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Manizales. p. 13 – 18.
- MENÉNDEZ A, O. M.; EVANGELISTA L, S.; ARENAS O, M.; BERMÚDEZ T, K.; MARTÍNEZ, A.; Y JIMÉNEZ A, A. 2006. Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilestrasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var *flavicarpa* Degener). En: Interciencia 31 (10): 728 – 733.
- MILLER, A. R. 1986. Oxidation of cell wall polysaccharides by hydrogen peroxide: a potential mechanism for cell wall breakdown in plants. En: Biochem. Biophys. Res. Commun. 141. 238 –244.
- OCAMPO P, J.; COPPENS D'E, G.; JARAMILLO N, N. 2008. Caracterización agromorfológica del maracuyá (*Passiflora edulis* f *flavicarpa*) y de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Seminario Nacional sobre Pasifloráceas. Programa científico y libro de resúmenes. Bogotá. sp.
- ORDÓÑEZ, R. M.; VATTUONE, M. A.; ISLA, M. I. 2004. Changes in carbohydrate content and related enzyme activity during *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. fruit maturation. En: Postharvest Biology and Technology 35 (2005): 293 - 301.
- ORJUELA B, N. M.; CAMPOS A, S.; SÁNCHEZ N, J.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, M. S. 2011. Manual de manejo poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, M. S. Eds. Poscosecha de la Gulupa. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Bogotá. p. 7 - 22
- ORTIZ V, D. C. 2010. Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. - Genética y Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Agronomía. 127 p.
- PINZÓN F, M. I. 2000. Propiedades físicas de cosecha y poscosecha de frutos de lulo “La Selva”. En: 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias, Manizales p. 386 – 397.
- PINZÓN, I. M.; FISCHER, G.; CORREDOR, G. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Agronomía Colombiana 25 (1): 83 – 95.
- PRIMO Y, E. 1998. Química de los alimentos. España. Editorial Síntesis. 461 p.

- PRUTHI, J. S. 1963. Physiology, chemistry, and technology of passion fruit. En: Advances in Food Research. 12: 203 - 282.
- RODRÍGUEZ, M.; GARCÍA, C. 2010. Poscosecha, procesamiento y análisis nutracéutico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y curuba (*Passiflora tripartita* var *mollissima*). En: Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 107.
- SARADHULDHAT P, PAULL, R. E. 2007. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. En: Scientia Horticulturae 112 (3): 297–303.
- SIERRA A, C. A.; GUTIÉRREZ C, L. A.; MARTÍNEZ, S. M. 2011. Desarrollo de empaques poliméricos apropiados para la comercialización de gulupa en fresco. En: MELGAREJO, L. M.; Hernández, M. S. Ed. Poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, p. 23 – 32.
- SHIOMI, S.; WAMOCHO, L. S.; AGONG, S. G. 1996 a. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. En: Postharvest Biology and Technology 7 (1 – 2): 161- 170.
- SHIOMI, S.; KUBO, Y.; WAMOCHO, L. S.; KOAZE, H.; NAKAMURA, R.; INABA, A. 1996 b. Postharvest ripening and ethylene biosynthesis in purple passion fruit. En: Postharvest Biology and Technology 8 (3): 199 – 207.
- SILVA, S. R.; MERCADANTE, A. Z. 2002. Composição de carotenóides de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* flavicarpa) in natura. En: Cienc. Tecnol. Aliment 22 (3): 254 – 258.
- SRIVASTAVA, L. M. 2002. Fruit Development and Ripening. En: SRIVASTAVA, L. M. Ed. Plant Growth and Development. Academic Press p. 413-429.
- TUCKER, G. A. 1993. Introduction. En: SEYMOUR, G. TAYLOR, J Y TUCKER, G. Ed. Biochemistry of Fruit Ripening. London Chapman & Hall. p. 1 – 51.
- UNIVERSITY OF WEST INDIES AT MONA. 2013. Passion fruit Jamaica. <http://www.mona.uwi.edu>; consulta enero 2013.
- VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL E, A. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. En: Food Chemistry 111 (4): 816 – 823.
- VILLANUEVA A, R.; EVANGELISTA L, S.; ARENAS O, M. L.; DÍAZ P, J. C.; BAUTISTA B, S. 1999. Evaluación de la calidad del jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) durante el crecimiento del fruto. En: Revista Chapingo Serie Horticultura 5 (2): 95 - 101.
- VILLANUEVA, M. J.; TENORIO, M. D.; ESTEBAN, M.A.; MENDOZA; M. C. 2004. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. En: Food Chemistry 87 (2): 179 – 185.

WILLS, R. H. H.; LEE, T. H.; MC GLASSON, W. R.; HALL, E. G.; GRAHAM, D. 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Zaragoza. Acribia. 195 p.

YINGSANGA, P; SRILAONG, V.; KANLAYANARAT, S.; NOICHINDA, S.; MCGLASSON, W.B. 2008. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See-Chompoo. En: Postharvest Biology and Technology 50 (2 - 3): 164 – 168.

70 Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Capítulo 3

Actividad enzimática en precosecha y poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del bosque húmedo montano bajo de Colombia

Enzymatic activity in preharvest and postharvest of gulupa fruit (*Passiflora edulis* Sims), in the ecological conditions of lower montane rain forest of Colombia.

3.1 Resumen

Los “frutales alto-andinos”, se consideran importantes por su potencial de consumo nacional y exportación. Entre ellos está la gulupa (*Passiflora edulis* Sims), reconocida como un frutal exótico de buena aceptación en mercados europeos; sin embargo, el respaldo tecnológico asociado al cultivo, es incipiente y su corta vida poscosecha conduce al rápido deterioro del fruto. Esto hace necesario plantear estudios de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que caracterizan la maduración, con el fin de procurar que el fruto llegue en las mejores condiciones de calidad a los consumidores. La investigación tuvo como objetivo cuantificar la actividad enzimática en el fruto de gulupa en precosecha y poscosecha, con el fin de aportar a su manejo en las fases señaladas. Se utilizó material vegetal proveniente del Banco de Germoplasma de la Nación Colombiana administrado por Corpoica; se realizaron muestreos destructivos periódicos de frutos con edad conocida, para determinar la actividad de las enzimas α -amilasa, pectinmetilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG) y polifenoloxidasas (PFO). Se encontró que las enzimas α -amilasa, PME y PG, promueven el incremento en la acumulación de sólidos solubles, lo que favorece el balance de la acidez en función del sabor dulce del fruto, en tanto que la baja actividad de la enzima PFO, posibilita la transformación agroindustrial, sin que se presente pardeamiento y que el fruto se puede cosechar

después de los 84 días posteriores a la floración, debido a que la actividad enzimática que se produce, garantiza la mejor expresión de los atributos organolépticos.

Palabras clave: Catalizadores, frutas tropicales, pasifloras, vida poscosecha

3.2 Abstract

The "high-Andean fruit", are considered important because of their potential for domestic consumption and export. Among them is the gulupa (*Passiflora edulis* Sims), recognized as an exotic fruit of good acceptance in European markets; however, the technological support associated with the crop is incipient and its short shelf life, leads to rapid deterioration of the fruit. This makes it necessary to design studies of the physical, physiological and biochemical processes that characterize the maturation, in order to ensure that the fruit arrives in the best possible quality to users. The research aimed to identify the enzyme activity in the fruits of gulupa during preharvest and postharvest, in order to contribute to the management at these stages of development. We used plant material from the germplasm bank of the Colombian nation administered by Corpoica, doing periodic destructive sampling of fruits with known age, to determine the activity of α -amylase, pectin methyl esterase (PME), polygalacturonase (PG) and polyphenoloxidase (PFO) enzymes. It was found that enzymes α -amylase, PME and PG, sponsor increase in soluble solids accumulation, favoring the sweet taste of the fruit; while the low activity of the enzyme PFO, enables agroindustrial processing, without fruit browning, and that the fruit may be harvested after 84 days following flowering, because enzymatic activity produced, ensures the better expression of quality attributes.

Key words: Catalysts, tropical fruits, passifloraceae, postharvest shelf life

3.3 Introducción

Los denominados "frutales alto-andinos", se consideran como frutos agradables y de alta demanda por los consumidores, cuya comercialización en fresco es la más común. Estos frutos tienen corta vida poscosecha, con rápido deterioro de la actividad fisiológica en esta fase, lo cual repercute en su calidad; por lo que se hace necesario, plantear estudios de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que caracterizan el proceso de maduración y sazónamiento. En el área Andina se ha reconocido un amplio grupo de especies frutales con posibilidades de desarrollo, dentro de las cuales se menciona la curuba redonda o gulupa (*Passiflora edulis* Sims) (Lobo, 2000).

La mayor parte de la producción de esta especie en Colombia se destina a la exportación, la cual en el 2012 ascendió a 3.065 toneladas, con un valor FOB de US \$ 13.167.660, los países europeos son los principales mercados de destino (Agronet, 2013).

Una enzima es un catalizador biológico que lleva a cabo reacciones bioquímicas a altas velocidades y con alto grado de especificidad. Las enzimas que contienen los alimentos de manera endógena ocasionan cambios benéficos o perjudiciales; por ello es importante el conocimiento de las diferentes reacciones que éstas producen en un vegetal para aprovechar sus ventajas y evitar los efectos indeseables de las mismas (Badui, 1990).

Gran porción de la fracción proteica sometida a cambios en los frutos durante las diferentes etapas de la maduración, está constituida por enzimas (Belitz y Grosch, 1997); éstas son importantes en la calidad de los vegetales, porque determinan la composición química y la susceptibilidad a la manipulación en pre y poscosecha. Las enzimas están involucradas en las reacciones anabólicas y catabólicas de los productos frutihortícolas y sólo actúan según las necesidades de las células; pero si éstas sufren lesiones, dichas enzimas se liberan de sus compartimientos y se ponen en contacto con el sustrato correspondiente, lo cual produce diferentes reacciones que no siempre son deseables en un fruto. Las enzimas adquieren una actividad determinada en una etapa particular del desarrollo; sin embargo, cuando la planta se emplea como nutrimento, todos los cambios posteriores a la condición óptima para su consumo son indeseables y deben prevenirse cuando se almacenan los alimentos (Badui, 1990; Haard, 1985).

Una de las enzimas que interviene en las reacciones de maduración de los frutos es la α -amilasa (EC 3.2.1.1), la cual promueve la hidrólisis de los enlaces glucosídicos α -1-4 y α -1-6 del almidón, con producción de oligosacáridos como maltosa y glucosa, los cuales, conjuntamente con la fructosa son responsables del sabor dulce intenso de los frutos. Este proceso sucede aun cuando el fruto sea separado de la planta inmediatamente antes de madurar (estado preclimatérico). Por ello, se suele aprovechar este carácter para recolectar frutos en estado preclimatérico, para almacenarlos en condiciones controladas, de forma que la maduración no tenga lugar hasta el momento de la comercialización (Granados, 1984; Badui, 1990; Bowers, 1992; García y Peña, 1995; Seymour y Gross, 1996; Willats *et al.*, 2001; Arellano *et al.*, 2005; Menéndez *et al.*, 2006).

Menéndez *et al.* (2006) observaron en frutos de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. flavicarpa Degener), que la actividad de α -amilasa fue más intensa en la novena semana después de anthesis, con incremento en el contenido de glucosa debido a que el almidón, sustrato de la enzima, en ésta época es más abundante.

La pectinmetilesterasa (PME), (EC 3.1.1.11), que abunda en frutos, se relaciona con la degradación de sustancias pécticas de la lámina media de las células; ésta hidroliza los grupos metoxilo y el carboxilo de la pectina para dar pectinas con bajo nivel de metoxilo; esto genera grupos carboxílicos libres (ácido cítrico), que intervienen en un efecto regulador del pH, el balance iónico de la pared celular y la actividad de otras enzimas hidrolíticas. La actividad de la PME no influye en el ablandamiento durante maduración, pero afecta substancialmente, la integridad durante el procesamiento del fruto (Granados, 1984; Hagerman y Austin, 1986; Badui, 1990; Willats *et al.*, 2001; Aponte y Guadarrama, 2003; Menéndez *et al.*, 2006); luego, otras enzimas catalizan la hidrólisis de cadenas de ácido poligalacturónico, lo que conlleva al desarrollo de unidades sencillas de ácido D – galacturónico (Granados, 1984). Recientemente, se ha generado conocimiento sobre las funciones de la PME en las plantas; la información genómica muestra que las PMEs pertenecen a grandes familias multigénicas y que sus estructuras primarias y cuaternarias se conservan entre los taxones de plantas, sobre lo que se ha encontrado

nueva información acerca de su papel en procesos tan importantes, como la reproducción de las plantas, el crecimiento y el sistema de defensa (Pelloux *et al.*, 2007).

Esta enzima es inhibida por ácidos fenólicos y es activada por el etileno según lo manifiestan Arellano *et al.* (2005), quienes apreciaron este efecto en zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq). En la fase de maduración de frutos de maracuyá, Aponte y Guadarrama (2003) y Menéndez *et al.* (2006) notaron que la actividad de esta enzima es mayor en madurez fisiológica, con disminución de su efecto en los estados de maduro y sobremaduro.

La enzima poligalacturonasa (PG), (EC 3.2.1.15) hidroliza enlaces glucosídicos de poligalacturonidos desesterificados para producir azúcares y ácidos orgánicos. La PG junto con la PME integran el sistema de enzimas que en los frutos ocasionan su degradación y contribuyen a que este órgano adquiera una textura más adecuada para su consumo; pero también su actividad excesiva aumenta la concentración de ácido galacturónico; lo cual causa ablandamiento notorio, disminución de la textura y los hace susceptibles al ataque de patógenos (Badui, 1990; Bowers, 1992; García y Peña, 1995; Menéndez *et al.*, 2006). En maracuyá amarillo (*P. edulis* var. *flavicarpa* Degener), la actividad de PG y PME han exhibido un comportamiento contrario con mayor actividad de PG hacia la novena semana después de anthesis, para luego disminuir mientras que la PME presenta alta actividad hacia la octava semana después de anthesis, lo cual se ha relacionado con la maduración del fruto (Menéndez *et al.*, 2006).

La polifenol oxidasa (PPO), (EC 1.10.3.1) cataliza la oxidación de compuestos polifenólicos en presencia de oxígeno molecular, los cuales son responsables de las reacciones de pardeamiento enzimático que ocurren durante la cosecha, poscosecha, procesamiento y almacenamiento; y determinan en gran medida la calidad y valor económico de frutos y vegetales. Las magulladuras, el troceado y otros procedimientos mecánicos dañan las paredes de los vegetales lo que permite la penetración de oxígeno para dar como resultado, el oscurecimiento o las reacciones de pardeamiento. (Badui, 1990; Ayaz *et al.*, 2008; Guerrero, 2009; Llorente, 2010; Oort, 2010). La PPO es una enzima soluble en el citosol, ligada a membranas, por lo que la acción del etileno sobre la permeabilidad de éstas durante la maduración, puede favorecer la acción de la enzima sobre los compuestos fenólicos oxidándolos (Arellano *et al.* 2005). Llorente (2010) manifiesta que a las enzimas de este tipo, no ha sido posible asignarles una localización precisa dentro de ruta metabólica alguna y que su función biológica no es clara.

Dada la importancia de las reacciones en las que actúan las enzimas mencionadas y su efecto sobre la calidad de los frutos, esta investigación tuvo como objetivo conocer la actividad de algunas enzimas en el fruto de gulupa en precosecha y poscosecha, con el fin de aportar a su manejo en las fases señaladas.

3.4 Materiales y Métodos

3.4.1 Ubicación

El cultivo experimental se plantó en el municipio de Rionegro, departamento de Antioquia, Centro de Investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, la latitud norte 6° 7' 49'' y longitud oeste 75° 24' 49'', a 2.090 msnm, con temperatura promedio anual de 17°C, precipitación promedio anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedio anual de 78%, brillo solar promedio anual de 1.726 horas/año, evapotranspiración promedio anual de 1.202 mm, ubicado en la zona de vida ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB).

3.4.2 Material biológico

El trabajo de campo se hizo en un área experimental donde se estableció al azar una población compuesta por 10 materiales de gulupa, provenientes de los departamentos de Antioquia, Putumayo y Nariño (Colombia), que hacen parte del banco de germoplasma de la nación colombiana, administrado por Corpoica y que según Ortiz (2010), reporta baja variabilidad genética, determinada con marcadores moleculares AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism) y SSRs (Secuencias Simples Repetidas).

Para la obtención de los frutos, se marcaron con hilos de colores, flores que estuvieran en la fases homógama con y sin hercogamia según lo manifestado por Ángel *et al.* (2011), se tomaron éstos estados como día cero de edad del fruto y cada época de muestreo se rotuló como días después de floración (DDF).

3.4.3 Procedimiento experimental

Para todos los análisis se realizaron muestreos destructivos a partir de los 49 DDF y hasta los 112 DDF. Para los análisis en poscosecha se recolectaron frutos a partir de los 91 DDF, con seguimiento cada siete días hasta el día 21, épocas que coinciden con las edades de 98, 105 y 112 DDF y que sirvieron para comparar la actividad enzimática de frutos madurados en la planta y en poscosecha. La unidad de muestreo, para cada época considerada estuvo constituida por 10 frutos, que se tomaron al azar, en los materiales seleccionados con conformación de muestras balanceadas e independientes, en cuanto al tamaño del fruto. Estas se transportaron en caja de poliestireno expandido con hielo seco y temperatura interna de 4 °C aproximadamente; las determinaciones se realizaron 2 horas después de la cosecha, en el laboratorio de Ciencia de los Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El seguimiento de las variables en poscosecha se hizo en el laboratorio de Poscosecha de Corpoica.

La obtención del jugo se realizó al hacer un corte de los frutos por la zona ecuatorial y con espátula se apartó el epicarpio del mesocarpio, inmediatamente se separó la semilla, se pasó por una tela de tul a manera de colador para garantizar la separación total y luego se colocó la pulpa en un recipiente enfriado con hielo. Para las determinaciones de la actividad enzimática, el jugo de los 10 frutos se mezcló hasta obtener homogeneidad completa, con extracción posterior de tres muestras (repeticiones) para los análisis, respectivos.

- **Actividad de la α -amilasa.** Previamente se preparó el extracto enzimático de la siguiente manera; a 5 g de pulpa se le adicionaron 10 mL de una solución extractora de buffer citrato 0,05 M y pH 4,5 que contenía EDTA 13 mM, 2-mercaptoetanol 10 mM y polivinilpirrolidona 1% p/v. La mezcla se homogeneizó y centrifugó a 4000 rpm durante 40 min a 4°C. La actividad enzimática se determinó por el método descrito por Bernfelds (1955), con algunas modificaciones. A una solución de almidón al 1% en buffer fosfato 0,02 M y pH 6,9, se le agregaron 250 μ L de extracto enzimático y se dejó reaccionar durante 10 min a 23°C. La reacción fue detenida por la adición de 500 μ L de una solución de DNS al 1% y se llevó la mezcla a 90°C durante 5 min; pasado este tiempo, se enfrió en un baño de hielo y se determinó la absorbancia a 540 nm. La actividad de la α -amilasa fue expresada como μ moles de maltosa min^{-1} liberados por mg de proteína total, en las condiciones del ensayo.
- **Actividad de la PME.** El extracto enzimático se preparó al adicionar a 4,5 g de pulpa 15 mL una solución constituida por NaCl 8,8% p/v. La mezcla se agitó vigorosamente por 30 s; posteriormente se centrifugó a 4000 rpm 4 °C por 40 min. El sobrenadante constituyó el extracto enzimático, el cual se ajustó a un pH de 7,5 con NaOH 0,1 N. La actividad enzimática se determinó mediante el seguimiento en el cambio de pH producido por la hidrólisis del enlace éster en la molécula de ácido poligalacturónico, a través de la variación en el color del indicador Azul de bromotimol, que absorbe a una longitud de onda de 620 nm. Para la determinación de la actividad se tomaron 100 μ L de extracto enzimático, 200 μ L de una solución de NaCl 0,15 M, 100 μ L de azul de bromotimol 0,5% p/v, y 1000 μ L de una solución de pectina cítrica al 0,25% p/v, ajustada a pH 7,5 con NaOH 0,1 N. La diferencia en la absorbancia a 620 nm entre el tiempo cero (0) min y el tiempo 3 min, expresa la actividad enzimática en $\Delta\text{Abs min}^{-1}$ por mg de total proteína total en las condiciones del ensayo (Hagerman y Austin, 1986).
- **Actividad de la PG.** Previamente se preparó el extracto enzimático de la siguiente manera; a 5 g de pulpa se le adicionaron 10 mL de una solución extractora de buffer citrato 0,05 M y pH 4,5 que contenía EDTA 13 mM, 2-mercaptoetanol 10 mM y polivinilpirrolidona 1% p/v. La mezcla se homogeneizó y centrifugó a 4000 rpm durante 40 min a 4°C. La actividad enzimática se determinó por la medida espectrofotométrica de los azúcares reductores (Miller, 1959), generados tras la acción de la enzima sobre el ácido poligalacturónico por el método de Nelson (1944). A 60 μ L de extracto enzimático se adicionaron 540 μ L de una solución de ácido poligalacturónico 0,4% p/v en buffer acetato 0,05 M y pH 4,0. Esta mezcla se incubó 10 min a 37 °C; la reacción fue detenida por la adición de 600 μ L de una solución de DNS al 1%, se llevó la mezcla a 90 °C durante 5 min; pasado éste tiempo se enfrió en un baño de hielo y se determinó la

absorbancia a 540 nm. La actividad de la poligalacturonasa se expresó como $\mu\text{moles min}^{-1}$ de ácido galacturónico liberados por mg de proteína total en las condiciones del ensayo.

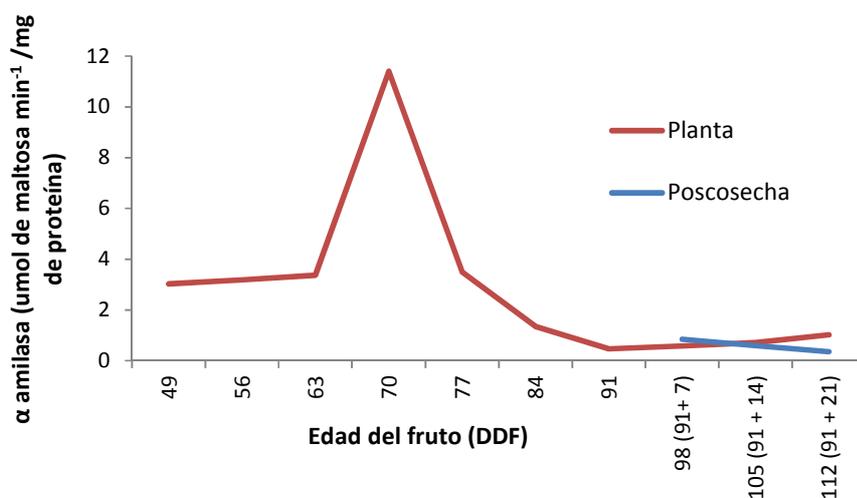
- **Actividad de la PFO.** Inicialmente se preparó el extracto enzimático de la siguiente forma; a 4 g de pulpa se le adicionaron 20 mL de una solución extractora de buffer de fosfato 0,2 M y pH 7,0, que contenía 0,4 g de polivinilpirrolidona (PVP). La mezcla se agitó vigorosamente por 30 s y posteriormente se centrifugó a 4000 rpm a 4 °C por 40 min. El sobrenadante constituyó el extracto enzimático. La actividad de la enzima se determinó con base en el método descrito por García *et al.* (2006), en el que una unidad de la actividad de la PFO se define como la cantidad de extracto enzimático que ocasiona un aumento de la absorbancia de 0,001 unidades por min a 30°C. A 1000 μL del extracto enzimático se adicionaron 1480 μL de una solución de catecol 100 mM y 500 μL de buffer fosfato 0,2 M y pH 7,0. La mezcla se mantuvo a 30°C durante 3 min y luego se enfrió en un baño de hielo; pasado este tiempo, se determinó la absorbancia a 420 nm durante 5 min, cada 29 s.
- **Proteína total.** Se determinó por el método de Bradford (Bradford, 1976), el cual cuantifica la unión del colorante Azul de Coomassie a una proteína desconocida y se compara con una curva estándar elaborada con diferentes concentraciones de proteína suero de albúmina (BSA).
- **Sólidos solubles totales.** Se determinaron según la norma técnica colombiana NTC 4624 (Icontec, 1999). Para ello se colocó sobre el prisma del refractómetro una gota de jugo tomado de la pulpa del fruto, la medida se realizó en escala de °Brix.
- Se utilizaron los siguientes equipos: preparación del extracto enzimático; centrifuga de capacidad media y alta velocidad HERMLE LABNET® modelo Z366. Determinación de la absorbancia a 540 nm y a 595 nm; espectrofotómetro UV-Vis ThermoScientific Génesis® 20. Para la agitación y homogeneización de las muestras un Vortex FISHER SCIENTIFIC® modelo 120V. Determinación del pH tanto de la solución de sustrato y del extracto enzimático; potenciómetro METROHM® 744. Determinación de la absorbancia a 620 nm; espectrofotómetro Multiskan Spectrum modelo V1.2 THERMO SCIENTIFIC®. Los datos se obtuvieron con el SkanIt Software 2.4.2 RE for Multiskan Spectrum. Los sólidos solubles se determinaron en un refractómetro Milton Roy Company®, se realizó corrección por temperatura a 20 °C.

3.5 Resultados y Discusión

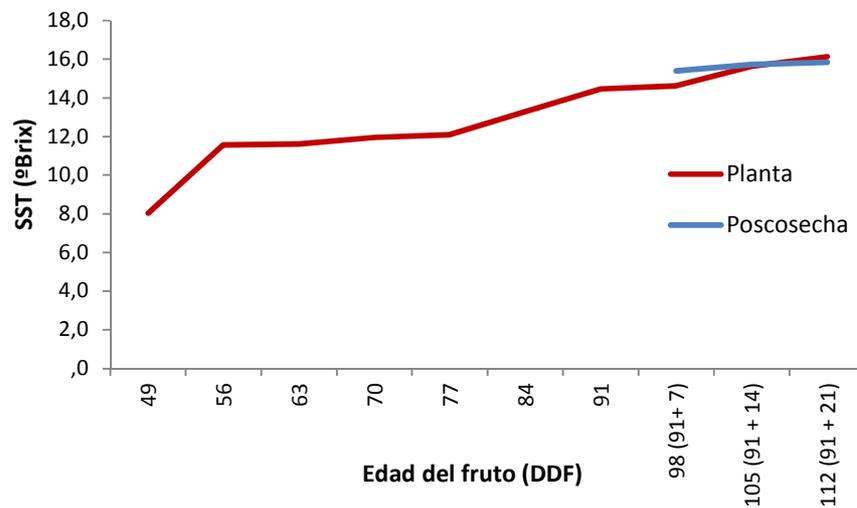
3.5.1 Actividad específica de la α -amilasa (AA)

En la Figura 3-1 se observó un incremento de la actividad después de los 63 DDF con el mayor registro a los 70 DDF con un valor de 11,4 μmol de maltosa/ min/mg de proteína, resultado similar al encontrado por Menéndez *et al.* (2006), quienes en frutos de maracuyá amarillo (*P. edulis* var. *Flavicarpa* Degener), establecieron que la actividad de α -amilasa era más intensa en la novena semana, para luego descender debido a la disminución del sustrato por la acción de la enzima, tal como se corroboró en esta investigación (Figura 3-1).

Figura 3-1: Actividad específica del α -amilasa (AA) en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



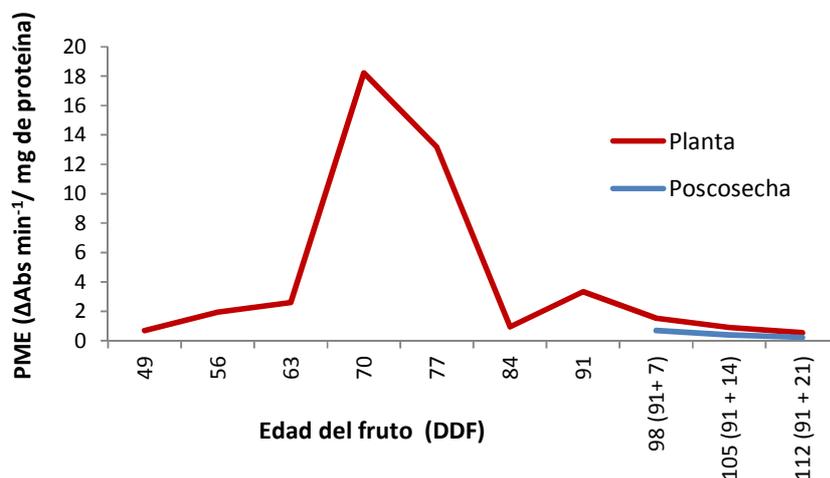
La mayor actividad encontrada se relaciona con el momento a partir del cual los sólidos solubles tienden a incrementar su concentración (Figura 3-2), hecho que se debe a que esta enzima, como lo mencionan Menéndez *et al.* (2006) y Shiomi *et al.* (1996), tiene como sustrato al almidón; el cual al hidrolizarse contribuye al incremento en la cantidad de glucosa para dar sabor dulce al fruto de gulupa. Los valores observados en poscosecha presentaron la misma tendencia de los frutos madurados en la planta, lo que garantiza la actividad de la enzima, en su papel de actuar sobre el almidón y que estos frutos alcanzarán una calidad óptima.

Figura 3-2: Evolución de sólidos solubles en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).

3.5.2 Actividad específica de la Pectinmetilesterasa (PME)

El valor encontrado de $18,2 \Delta\text{Abs}/\text{min}/\text{mg}$ de proteína (Figura 3-3), coincidió en el incremento y el “pico” máximo de su actividad con lo apreciado en la enzima α -amilasa, lo cual es concordante con el comportamiento expresado por Aponte y Guadarrama (2005) y Menéndez *et al.* (2006), quienes determinaron que la actividad aumenta hacia la madurez fisiológica, para luego disminuir en la madurez de cosecha (Figura 3-3). Se encontró también que su evolución es contraria a PG, tal como lo indican Menéndez *et al.* (2006).

Figura 3-3: Actividad específica de la pectinmetilesterasa (PME) en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



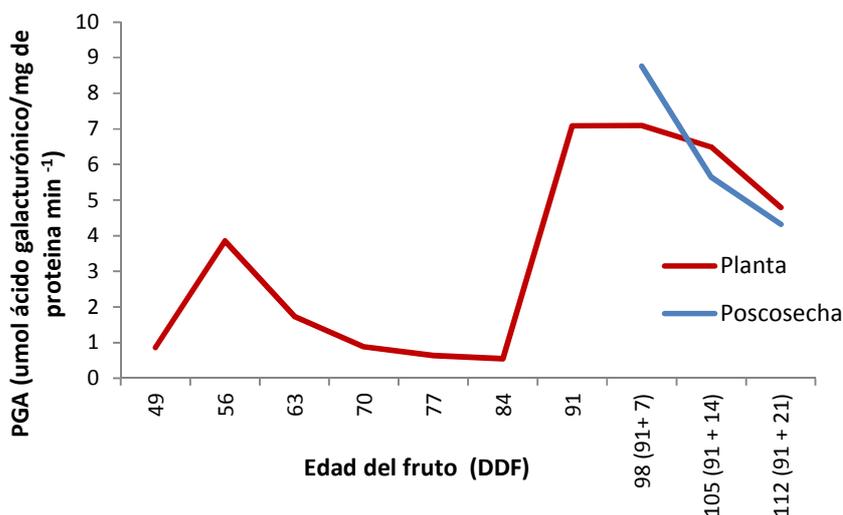
Esta enzima está relacionada con la maduración de frutos como lo señalan en la discusión de su investigación Menéndez *et al.* (2006), basados en lo expresado por diferentes autores, al referirse a la degradación de las sustancias pécticas de los arilos y pericarpio en frutos maduros de maracuyá amarillo. La actividad de la PME no influye en el ablandamiento durante la maduración, pero afecta substancialmente la integridad durante el procesamiento del fruto (Granados, 1984; Hagerman y Austin, 1986; Badui, 1990; Willats *et al.*, 2001; Aponte y Guadarrama, 2003). La PME deja el fruto listo para la acción de otras enzimas que catalizan la hidrólisis de cadenas de ácido poligalacturónico y producen unidades sencillas de ácido D – galacturónico (Granados, 1984).

En poscosecha se presentó tendencia a la disminución en su actividad, caso diferente al observado en otros frutos climatéricos como en zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.), en el que se nota un incremento en la actividad de la enzima que coincide con otros eventos metabólicos como la producción de etileno (Arellano *et al.*, 2005).

3.5.3 Actividad específica de la Poligalacturonasa (PG)

Al igual que la PME, esta enzima también está relacionada con la maduración de frutos, como lo observaron Menéndez *et al.* (2006), en maracuyá. La PG presentó baja actividad hasta los 84 DDF con un “pico” máximo a los 91 DDF, con 7,09 μmol ácido galacturónico/mg de proteína min^{-1} (Figura 3-4), similar a lo expuesto en maracuyá amarillo por Menéndez *et al.* (2006), pero en diferentes épocas de edad del fruto lo cual probablemente se debió a la disímil ubicación geográfica y altitudinal de las zonas donde se realizó la experimentación.

Figura 3-4: Actividad específica de la poligalacturonasa (PGA) en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



Según Menéndez *et al.* (2006), basados en conceptos de otros autores, afirman que cuando la PG actúa sobre su sustrato, los enlaces glucosídicos de los poligalacturónidos desesterificados se hidrolizan para producir azúcares; hecho que coincide con el aumento de los sólidos solubles y que fue evidente en esta investigación.

El comportamiento de la PG apreciado en la poscosecha del fruto, fue ascendente hasta los siete días después de cosechado el fruto, evolución similar a lo indicado por Aponete y Guadarrama (2005), esto indica que este período de maduración del fruto se afecta por la actividad de esta enzima, lo que comprueba su acción en el proceso de maduración.

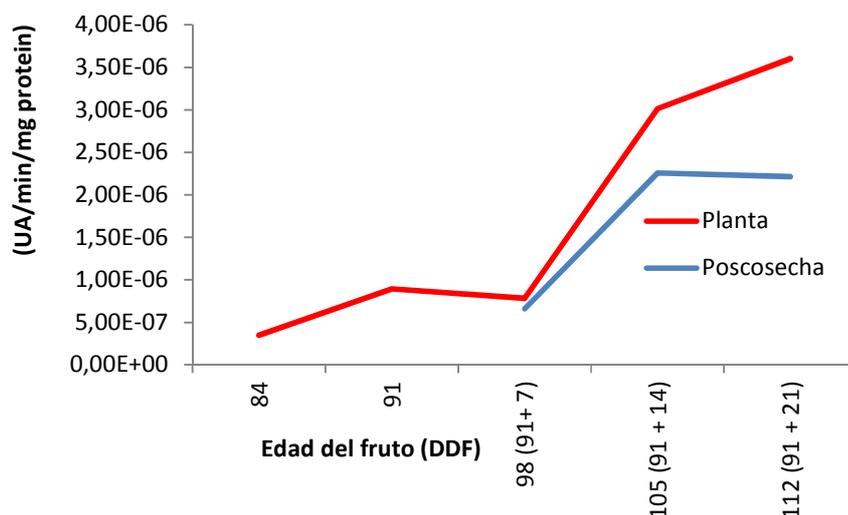
3.5.4 Actividad específica de la Polifenoloxidasa (PFO)

Los valores para la actividad específica de la PFO en el jugo de gulupa encontrados en esta investigación fueron bajos, 0,0000021 UA min⁻¹ por mg de proteína total (Figura 3-5), como también lo observaron Falguera *et al.* (2012) en frutos maduros de maracuyá amarillo. Se apreciaron valores que aumentaron en la etapa de madurez y en la poscosecha del fruto; en concordancia con lo observado por Lobo (1995) en papaya (*Carica papaya*) y Dueñas *et al.* (2008) en pitaya (*Acanthocereus pitajaya* Jacq), donde esta enzima, tiene actividad intensa después del “pico” climático; lo que ocasiona problemas de pardeamiento; y en manzana (*Malus pumila*), donde se sugiere la aplicación de tratamientos como la radiación ultra violeta, con el fin de inactivar el efecto negativo en el jugo por la alta actividad de la enzima (Falguera *et al.*, 2011). En

poscosecha la evolución de la PFO aumento en forma diferente a lo observado en otros frutos como banano Gros Michel, donde García *et al.* (2006) encontraron la menor actividad de la enzima en estados de maduración avanzados, lo que sugiere su degradación con la maduración.

Los valores de actividad de la PFO hallados indican que su acción sobre los compuestos polifenólicos, que en conjunto con el oxígeno molecular, ocasionan las reacciones de pardeamiento enzimático (Badui, 1990; Ayaz *et al.*, 2008; Guerrero, 2009; Llorente, 2010; Oort, 2010) y que ocurren durante la cosecha, poscosecha, procesamiento y almacenamiento, son reducidos, lo que favorece las acciones de transformación agroindustrial de este fruto.

Figura 3-5: Actividad específica de la polifenoloxidasasa (PFO) en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



3.6 Conclusiones

La actividad de las enzimas α -amilasa y PG, es importante porque contribuye al incremento de la concentración de los sólidos solubles, que favorecen el sabor dulce de la gulupa.

La baja actividad de la enzima PFO, garantiza que la gulupa pueda ser transformada agroindustrialmente a partir de la cosecha, sin causar problemas de pardeamiento enzimático.

En las condiciones en las que se realizó esta investigación y al ser la gulupa un fruto climatérico, se puede cosechar después de los 85 - 90 DDF, porque se logra una adecuada madurez de consumo.

En la investigación en la fisiología poscosecha, es fundamental tener en cuenta la actividad enzimática del fruto, porque guarda una estrecha relación con la maduración y permite pronosticar comportamientos deseables o no, durante la poscosecha y procesos agroindustriales.

3.7 Bibliografía

- AGRONET. 2013. Sistema de estadísticas agropecuarias. Cifras comercio exterior. Exportación. Exportaciones del sector agropecuario. <http://www.agronet.gov.co>; consulta: abril 2013.
- ÁNGEL, C., NATES, G., OSPINA, R., MELO, C.; AMAYA M. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. En: *Caldasía* 33 (2): 433 – 451.
- APONTE, A.; GUADARRAMA, A. 2003. Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Degener). En: *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* (29): 145 – 160.
- ARELLANO, L. A.; SAUCEDO, C.; ARÉVALO, L. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digna* Jacq.). En: *Agrociencia* 39: 173 – 181.
- AYAZ, F. A.; DEMIR, O.; TORUN, H.; KOLCUOGLU.; COLAK, A. 2008. Caracterización de polifenoloxidasa (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. En: *Food Chemistry* 106 (1): 291-298.
- BADUI, S. 1990. Química de los alimentos. 2ed. México, D. F. Editorial Alhambra Mexicana S. A. de C. V. 639 p.
- BELITZ, H. D., GROSCH, W. 1997. Química de los alimentos. 2ed. Zaragoza, Editorial Acribia. España. 1087 p.
- BERNFELDS, P. 1955. Amylase a y b. En: COLOWICK S. P.; KAPLAN, N. O. Eds. *Methods in enzymology* Vol.1 Academic Press. Nueva York, USA. p. 149-159.
- BOWERS, J. 1992. Food theory and applications. New York, USA. Macmillan Pub. Int. Ed. 952 p.
- BRADFORD, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. En: *Analytical Biochemistry* (1-2) 72: 248-254.

- DUEÑAS, Y.; NARVÁEZ, C.; RESTREPO, L. 2008. Inhibición de lesiones por frío de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) a través del choque térmico: catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasa. En: Acta Biol. Colomb 13 (1): 95 – 106.
- FALGUERA, V., PAGÁN, J.; IBARZ, A. 2011. Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. En: LWT - Food Science and Technology 44 (1): 115 – 119.
- FALGUERA, V.; SÁNCHEZ R, A. M.; QUINTERO C, J. P.; RIVERA B, C. A.; MÉNDEZ A, J. J. 2012. Characterization of polyphenol oxidase activity in juices from 12 underutilized tropical fruits with high agroindustrial potential. En: Food and Bioprocess Technology An International Journal 5 (7): 2921 – 2927
- GARCÍA, H. E.; PEÑA, V. C. 1995. La pared celular: componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 75 p.
- GARCÍA, C.; GIRALDO, G.; HURTADO, H.; MENDIVIL, C. 2006. Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano (Gros Michel) en diferentes estados de maduración. En: VITAE 13 (2): 13-19.
- GUERRERO, C. A. 2009. Inhibición de la actividad enzimática de la polifenol oxidasa extraída del banano (Cavendish valery) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico. Tesis Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 91 p.
- GRANADOS J. R. 1984. Química avanzada Nuffield, ciencia de la alimentación. Barcelona. Editorial Reverté S. A. 172 p.
- HAARD N. F. 1985. Características de los tejidos de plantas comestibles. En: FENNEMA, O. R. Ed. Introducción a la Ciencia de los Alimentos. Barcelona. Editorial Reverté S. A. p. 861-867.
- HAGERMAN, A. E.; AUSTIN, P. J. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methylesterase. En: Journal of Agriculture and Food Chemistry 34 (3): 440 - 444.
- LOBO, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. En: 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales. CDTF. Memorias. Manizales, p. 27 – 36.
- LLORENTE, B. E. 2010. Un rol biológico propuesto para las misteriosas polifenol oxidasas vegetales. En: Tesis Doctor en Química Biológica. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Química Biológica. Universidad de Buenos Aires. 88 p.
- MENÉNDEZ, O.; LOZANO, S. E.; ARENAS, M.; BERMÚDEZ, K. A.; MARTÍNEZ, A.; JIMÉNEZ, A. 2006. Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilestrasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. flavicarpa Degener. En: Interciencia 31 (10): 728 – 733.

- MILLER, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. En: Anal. Chem 31: 26-31.
- NELSON, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose. En: J. Biol. Chem 153: 378 - 380.
- OORT, VAN M. 2010. Enzymes in bread making. En: WHITEHURST, R. J. AND OORT, VAN M Enzymes in Food Technology. Eds. 2nd edition. New Delhi, India. Blackwell Publishing Ltd. 360 p.
- ORTIZ, D. C. 2010. Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. En: Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. 127 p.
- PELLOUX, J., RUSTÉRUCCI C.; MELLEROWICZ E. J. 2007. New insights into pectin methylesterase structure and function. En: Trends in Plant Science 12 (6): 267 – 277.
- SEYMOUR, G. B.; GROSS K. C. 1996. Cell wall disassembly and fruit softening. En: Posth. News Inf 3: 45 N – 52 N.
- SHIOMI, S.; WAMOCHO, L. S.; AGONG, S. G. 1996. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. En: Postharvest Biology and Technology 7 (1 – 2): 161- 170.
- WILLATS, W.G., MCCARTNEY, L., MACKIE W.; KNOX, J.P. 2001. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis. En: Plant Mol. Biol. 47(1-2): 9 - 27.

Capítulo 4

Estimación del contenido de carotenoides en la pulpa de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) conforme a la variación del color en la cáscara

Gulupa fruits age and changes of the color parameters in order to estimate the content of carotenoids in the pulp

4.1 Resumen

Los “frutales alto-andinos”, se consideran importantes por su potencial de consumo nacional y exportación. Entre ellos está la gulupa (*Passiflora edulis* Sims), reconocida como un frutal exótico de buena aceptación en mercados europeos; sin embargo, el respaldo tecnológico asociado al cultivo, es incipiente y su corta vida en poscosecha conduce a su rápido deterioro. Esto hace necesario plantear estudios de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que caracterizan la maduración, con el fin de procurar que el fruto llegue en las mejores condiciones de calidad a los consumidores. La investigación tuvo como objetivo, a partir de los cambios de color del fruto y de la edad, estimar la evolución de carotenoides en la pulpa de gulupa, con el fin de buscar modelos matemáticos que puedan predecir esta relación y que sirvan como parámetros de comercialización. Se utilizó material vegetal proveniente del Banco de Germoplasma de la Nación Colombiana administrado por Corpoica. Se realizaron muestreos destructivos periódicos de frutos, con edad conocida; el color se determinó con base en el espacio de color CIE L^* , a^* y b^* . La colorimetría triestímulo confirmó que hay evolución apreciable del color después de los 84 días después de floración (DDF), cuando el fruto inició el cambio de coloración de tonos verdes hacia colores púrpura, con mayor intensidad a los 91 DDF y con color total púrpura hacia los 98 DDF y púrpura muy oscuro a los 105 DDF. En frutos que maduran en la planta, se constató que ocurre disminución en la luminosidad (L^*) y que en las coordenadas de cromaticidad el valor a^* aumentó y la

coordenada b^* disminuyó, cuyos cambios que dan al fruto su color característico. En frutos cosechados después de los 84 DDF, se observó la misma tendencia en la evolución del color. Los carotenoides presentes en el jugo se incrementaron constantemente a medida que el tiempo transcurre, proceso que también se aprecia en poscosecha. El análisis de varianza permitió establecer diferencias ($P \leq 0.05$) entre las coordenadas de color y el contenido de carotenoides y entre la edad del fruto y el contenido de carotenoides; por lo que se procedió al ajuste de un modelo múltiple que estima el nivel de carotenoides con la ayuda de las coordenadas de color a^* , b^* y la relación a^*/b^* y un modelo polinomial que utiliza los DDF.

Palabras clave: β -caroteno, color Cielab, alimentos nutraceuticos, frutos tropicales

4.2 Abstract

The "high-Andean fruit", are considered important for their potential domestic and export consumption. Among them is the gulupa (*Passiflora edulis* Sims), recognized as an exotic fruit with good acceptance in European markets; however, the technological support associated to the crop is emerging and its short postharvest life leads to rapid deterioration of the fruit. For these reasons, is necessary to study the physical, physiological and biochemical processes that characterized the maturation, in order to ensure that the fruit arrives in the best quality to consumers. The research was aimed, from the fruit color changes and age, to estimate the evolution of carotenoids in gulupa pulp, in order to find mathematical models that can predict this relationship and to serve as marketing parameters. We used plant material from genebank of the Colombian nation administered by Corpoica, doing periodic destructive in sampling of fruits with known age, color was determined based on the color space CIE L^* , a^* and b^* . The tristimulus colorimetry confirmed that there is an appreciable color evolution after 84 days after flowering (DAF), when the fruit begins discoloration of green tones to purple colors, noticing with greater intensity to 91 DAF and total color purple to the 98 DAF and very dark purple to 105 DAF. In fruits attached to the plant, it was found that reduction occurs in the luminosity (L^*) and chromaticity coordinates in the a^* value increased and decreased in the b^* , changes which give the fruit its characteristic color. In fruits harvested after 84 DAF, we observed the same trend in the evolution of color. The carotenoids present in the juice increase steadily as the fruit grows in age, a process that is also observed in postharvest. Variance analysis allowed establishing differences ($P \leq 0.05$) between the color coordinates and the carotenoid content and between the age of the fruit and the carotenoid content, so that an adjustment was made of a multiple model that considers the level of carotenoids using color coordinates a^* , b^* and the relationship a^*/b^* and a polynomial model which uses the DAF.

Key words: β -carotene, Cielab color, nutraceutical foods, tropical fruits

4.3 Introducción

Los denominados “frutales alto-andinos”, se consideran como frutos agradables y de alta demanda por los consumidores, cuya comercialización en fresco es la más común. Estos frutos tienen corta vida poscosecha, con rápido deterioro de la actividad fisiológica en esta fase, lo cual repercute en su calidad. En el área Andina se ha reconocido un amplio grupo de especies frutales con posibilidades de desarrollo, dentro de las cuales se menciona la curuba redonda o gulupa (*Passiflora edulis* Sims) (Lobo, 2000).

La mayor parte de la producción de esta especie en Colombia se destina a la exportación, la cual en año 2012 ascendió a 3.065 toneladas, con un valor FOB de US \$ 13.167.660. Los países europeos son los principales mercados de destino (Agronet, 2013).

Los principales atributos de calidad en los alimentos son color, textura y sabor. El color y la textura son importantes y decisivos, debido a que pueden producir aceptación o rechazo por parte del consumidor. La evolución del color de la cáscara (epicarpio) es una de las principales y muchas veces, el criterio más importante utilizado por el consumidor para juzgar el grado de madurez; por el productor, para realizar la cosecha y usar como índice de valor económico en alimentos (Pinzón, 2000; Artigas *et al.*, 2002; Zapata *et al.*, 2007; Vianna *et al.*, 2008). Los tonos de colores predominantes en la naturaleza son rojo, verde, naranja y amarillo; los humanos se han adaptado a la gama de colores de los alimentos y en algunos casos los han modificado; de todas formas, los colores son la base para decidir de una manera rápida y segura si un alimento es comestible (Artigas *et al.*, 2002). Los colores en los alimentos se deben a la presencia de pigmentos entre los cuales se encuentran los carotenoides, que son colorantes rojos y amarillos presentes en hojas, frutos, flores, tejidos y grasas animales. Los carotenoides resultan de sustituir en los carotenos, derivados oxigenados de cuatro carbonos, algunos de los hidrógenos por grupos oxhidrilos, carbonilo, epóxido o carboxilo; contribuyen a absorber energía radiante en la fotosíntesis (Primo, 1998), durante este proceso actúan como sustancias fotoprotectoras, para la inhibir propagación de especies reactivas de oxígeno (ERO) (Minguez *et al.*, 2015), por ello pueden desempeñar un papel como antioxidantes porque protegen al organismo frente a los radicales libres; sin embargo, la forma de acción, la biodisponibilidad y su poder antioxidante no están clarificados (Piñeiro y Zudaire, 2009): otros autores los consideran asociados a la posible disminución en el riesgo a desarrollar enfermedades crónico-degenerativas debidas a estrés oxidativo o los reconocen como complemento alimenticio (Burgos y Calderón, 2009; Minguez *et al.*, 2013).

La ontogenia del fruto de gulupa no ha sido estudiada a fondo; en maracuyá amarillo durante este proceso, el fruto pasa por transformaciones que alteran sus características fisicoquímicas (Vianna *et al.*, 2008). En cuanto a los cambios de color Vianna *et al.* (2005) y Vianna *et al.* (2008), en maracuyá amarillo detectaron que el cambio de color del epicarpio de la cáscara del verde al amarillo se inicia a los 64 DDF por la degradación de la estructura de la clorofila, asociada con la síntesis y/o aparición de pigmentos, en su mayoría carotenoides; además, encontraron que el color de la cáscara no se correlaciona con el color del jugo. Holden *et al.* (1999) y Silva y Mercadante (2002), detectaron en jugo

de maracuyá amarillo, diferentes carotenoides como β -criptoxantina, prolicopeno, cis- ζ caroteno, ζ -caroteno, β -caroteno, α -caroteno y 13 - cis – β -caroteno, mientras Rodríguez *et al.* (2008), sólo reportan β -caroteno. Manifiestan también que el contenido de carotenoides varía según la procedencia de los frutos y las reacciones enzimáticas que los originan y que en general predominan en jugos comerciales, pulpas y frutos frescos el ζ -caroteno y el β -caroteno que contribuye con los contenidos de vitamina A.

A través del proceso de maduración, el epicarpio de la gulupa cambia de color desde el verde hasta el púrpura muy oscuro después de los 70 DDF y hay una rápida aparición del color púrpura en el 75% del fruto a los 90 DDF; para frutos separados de la planta (en poscosecha), el desarrollo del color púrpura es de igual intensidad que aquellos madurados en la planta; ello ocurre entre los 80 y 90 DDF, pero esto no sucede para frutos cosechados antes de los 70 DDF (Shiomi *et al.*, 1996; Pinzón *et al.*, 2007; Rodríguez y García, 2010). La pulpa (mesocarpio) también presenta evolución en cuanto al cambio de color por lo cual Pinzón *et al.* (2007) proponen cuatro estados de madurez de la pulpa desde el amarillo muy claro-crema hasta naranja intenso.

Los métodos para medir la calidad y su relación con los atributos de productos frutihortícolas se han desarrollado y empleado durante siglos; las técnicas instrumentales surgieron hace unos 80 años y recientemente se han desarrollado sensores en tiempo real no destructivos para el uso en las mediciones de calidad. En la actualidad se dispone de tecnologías de tipo electromagnéticas, mecánicas, electroquímicas y métodos estadísticos (Abott, 1999).

Slaughter (2009), manifiesta que se han desarrollado diferentes métodos para la determinación no destructiva de la calidad de frutos tales como aroma, color, composición, firmeza, forma, tamaño, gravedad específica. Ornelas *et al.* (2008) encontraron correlaciones entre el valor a^* de la CIE (Comisión Internationale de l'Éclairage), medido en cáscara de mango "Manila" y "Ataulfo" y el contenido de carotenoides de la pulpa. Por otra parte, Zapata *et al.* (2007), establecieron modelos matemáticos que relacionan adecuadamente el licopeno y el β -caroteno con el índice a^*/b^* , para la predicción de la evolución de carotenoides en tomate (*Lycopersicon esculentum* L), contrario a lo encontrado por Urfalino *et al.* (2011), que no hallaron relación directa entre el índice de color a^*/b^* y el contenido de licopeno; en tanto que Fischer y Martínez (1999), al correlacionar el color del fruto de uchuva con el contenido de carotenoides, no observaron significancia.

La presente investigación tuvo como objetivo establecer a partir de los cambios de color en la cáscara y la edad del fruto, la evolución de los carotenoides en la pulpa de gulupa, mediante el ajuste de modelos de regresión, con el fin de generar predicciones que puedan servir como parámetros de comercialización.

4.4 Materiales y Métodos

4.4.1 Ubicación

El cultivo experimental se plantó en el municipio de Rionegro, departamento de Antioquia, Centro de Investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, latitud norte 6° 7' 49'' y longitud oeste 75° 24' 49'' a 2.090 msnm, con temperatura promedio anual de 17°C, precipitación promedio anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedio de 78%, brillo solar promedio anual de 1.726 horas/año, evapotranspiración promedio de 1.202 mm, ubicado en la zona de vida ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo (bh – MB).

4.4.2 Material biológico

El trabajo de campo se hizo en un área experimental donde se estableció al azar una población compuesta por 10 materiales de gulupa, provenientes de los departamentos de Antioquia, Putumayo y Nariño (Colombia), que hacen parte del banco de germoplasma de la nación colombiana, administrado por Corpoica y que según Ortiz (2010), reporta baja variabilidad genética, determinada con marcadores moleculares AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism) y SSRs (Secuencias Simples Repetidas).

Para la obtención de los frutos, se marcaron con hilos de colores, flores que estuvieran en la fases homógama con y sin hercogamia según lo manifestado por Ángel *et al.* (2011), éstos estados se tomaron como día cero de edad del fruto y cada época de muestreo se rotuló como días después de floración (DDF).

4.4.3 Procedimiento experimental

Para los análisis de color se realizaron muestreos destructivos cada siete días a partir de los 7 DDF y hasta los 112 DDF. Para los análisis en poscosecha se recolectaron frutos a partir de los 91 DDF, para realizar el seguimiento hasta los 21 posteriores a la cosecha, épocas que coinciden con las edades de 98, 105 y 112 DDF. Para cuantificar el contenido de carotenoides los análisis se iniciaron a partir del 49 DDF. La unidad de muestreo para cada época considerada estuvo constituida por 10 frutos, que se tomaron al azar, en los materiales seleccionados con conformación de muestras balanceadas e independientes en cuanto al tamaño del fruto. Estas se transportaron en caja de poliestireno expandido con hielo seco y temperatura interna de 4 °C, aproximadamente; las determinaciones de carotenoides se realizaron en el laboratorio de Ciencia de los

Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El seguimiento de las variables de color se hizo en el laboratorio de Poscosecha de Corpoica. Los frutos durante la poscosecha se mantuvieron a temperatura ambiente de 20 °C y 70% de humedad relativa.

- **Obtención del jugo.** Se cortaron los frutos por la zona ecuatorial y con espátula se separó la cáscara de la pulpa, inmediatamente se apartó la semilla de la pulpa, al pasarla por una tela de tul, luego se colocó la pulpa en un recipiente enfriado con hielo. El análisis de carotenoides se efectuó con la pulpa de 10 frutos la cual se mezcló y luego se extrajeron tres muestras.
- **Determinación del color de la cáscara.** Se hizo al momento de cada muestreo. Para ello se utilizó un colorímetro Konica Minolta® Chroma Meter CR-400, con el iluminante D65 en el espacio de color CIE L*, a* y b*, se midió siempre en las mismas condiciones de laboratorio (luz tipo día y 20 °C) en dos sitios opuestos de la zona ecuatorial del fruto, para obtener los parámetros L* (luminosidad), a* (cromaticidad verde - rojo), b* (cromaticidad azul - amarillo) (Menéndez *et al.* 2006). Se emplearon 10 frutos en cada lectura para un total de 20 determinaciones.
- **Contenido de carotenoides.** Se estableció según el método descrito por Biswas *et al.* (2011). Para ello se tomó en un tubo de ensayo un gramo de pulpa, se adicionaron 5 mL de acetona fría, se dejó reposar alrededor de 15 min en refrigerador (4°C); pasado este tiempo se agitó en Vórtex por dos min. La mezcla se centrifugó a 1.370 gravedades durante 10 min en una centrífuga de capacidad media y alta velocidad Hermle Labnet® modelo Z366; el sobrenadante se recolectó en otro tubo de ensayo. El precipitado se reextrajo con 5 mL de acetona fría y se repitió todo el proceso anterior. Ambos extractos acetónicos se mezclaron, luego se filtraron en papel Whatmann No. 42 y se midió la absorbancia a longitud de onda de 449 nm con un espectrofotómetro Multiskan Spectrum modelo V1.2 Thermo Scientific®. La concentración de carotenoides se estableció mediante la curva de calibración respectiva, con β -caroteno como sustancia patrón. Los datos se obtuvieron con el uso del SkanIt Software 2.4.2 RE for Multiskan Spectrum®.

Se ajustaron dos modelos de regresión para estimar el contenido de carotenoides: uno múltiple basado en coordenadas de color y uno polinómico basado en la edad del fruto. Las variables predictoras fueron el espacio de coordenadas de color CIE L*, a* y b* para el primero y los DDF para el último modelo.

4.5 Resultados y Discusión

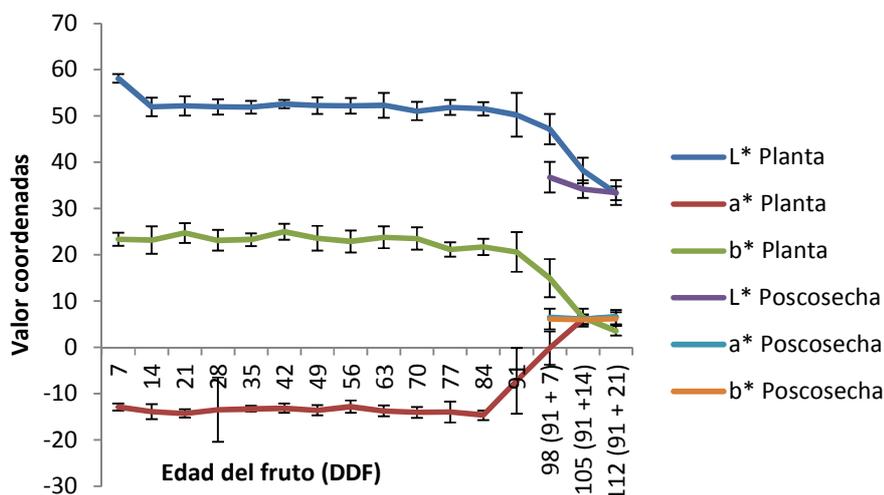
4.5.1 Evolución del color

Durante el proceso de maduración del fruto, se apreció evolución similar a la observada por Shiomi *et al.* (1996); Pinzón *et al.* (2007) y Rodríguez y García (2010), donde la cáscara del fruto cambió de color verde hasta el púrpura oscuro, después de los 84 DDF, con una coloración púrpura predominante en el fruto hacia el 91 DDF. Para frutos separados de la planta el desarrollo del color púrpura en igual intensidad que los madurados en ella, ocurrió a los 98 DDF. La información sobre los cambios de color en el fruto es importante porque puede ayudar a tomar decisiones fácilmente sobre el estado de maduración.

La colorimetría triestímulo confirmó estas observaciones al indicar que hay evolución apreciable después de los 84 DDF donde el fruto inicia el cambio de coloración de tonos verdes hacia colores púrpura, con mayor intensidad en los 91 DDF para alcanzar el color total púrpura hacia los 98 DDF y púrpura muy oscuro a los 105 DDF, estos cambios también fueron observados en las condiciones de evaluación de Shiomi *et al.* (1996), desde los 70 DDF.

Durante la ontogenia, el fruto tiende a ser opaco, como se constató en la disminución en la luminosidad (L^*), (Figura 4-1), que se redujo de 58,1 a 33,3. En las coordenadas de cromaticidad a^* varió de -12,9 a 6,5, entre los 14 DDF y los 91 DDF, y la coordenada b^* de 24,9 a 3,57, lo que indica que se acercaban a tonalidades grisáceas, que conjugadas con la luminosidad, representan el color característico del fruto. En la cromaticidad a^* y b^* se observaron cambios notables a partir de los 84 DDF y en la luminosidad después de los 91 DDF, coincidente con los cambios de color observados visualmente y la información suministrada por Flórez *et al.* (2012), en frutos de gulupa, en la zona de Cundinamarca, (Colombia).

Figura 4-1: Evolución de la Luminosidad L* y la cromaticidad a* y b* en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras indican la desviación estándar.



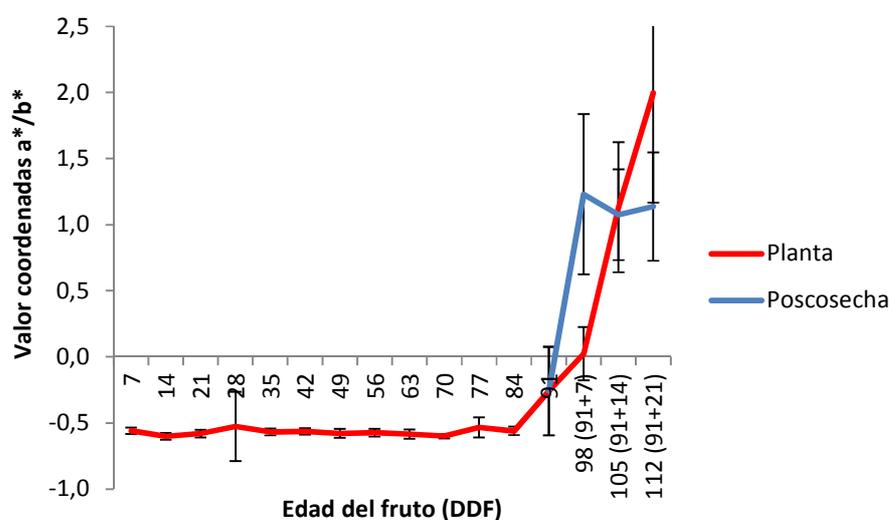
Los frutos cosechados tuvieron variación más acelerada en la luminosidad que los que se maduraron en la planta; la cromaticidad a* presentó evolución más rápida comparada con frutos madurados en la planta; las coordenadas L* y b* disminuyeron después de la cosecha. Esto indica que el color púrpura, también se desarrolla en condiciones de poscosecha y el proceso de evolución aparentemente es más rápido; para este caso Shiomi *et al.* (1996) expresan que para que un fruto en poscosecha desarrolle el color púrpura en igual intensidad que el unido a la planta, se debe cosechar entre los 80 y 90 DDF, situación similar a lo encontrado en esta investigación.

En frutos relacionados con la gulupa, como el maracuyá amarillo, el proceso de variación de color de la cáscara de verde hacia amarillo, ocurre a los 64 DDF y se da primero en la parte inferior, para llegar a 100% de coloración amarilla a los 100 DDF (Vianna *et al.*, 2008 y Menéndez *et al.*, 2006). Como se observó en esta investigación los cambios de coloración ocurren en el último tercio del proceso de maduración del fruto, hecho que coincide con lo apreciado para gulupa por Shiomi *et al.* (1996) y para maracuyá amarillo, por Menéndez *et al.* (2006) y Vianna *et al.* (2008).

La evolución del índice a*/b* siguió la tendencia de la cromaticidad a*, con cambios evidentes a partir de los 84-91 DDF según si los frutos maduraron en la planta o en poscosecha. La relación a*/b* en frutos madurados en la planta presentó un incremento fuerte después de los 84 DDF (Figura 4-2), época en la cual son evidentes las variaciones de color del fruto del verde hacia los tonos púrpura, lo que indica la concentración del tono púrpura característico del fruto, pero cuando se cosecharon a los 91 DDF, aumentó este índice en forma más rápida que para los frutos que permanecían en la planta. Aunque el valor final fue inferior al que presentaron los frutos que se dejaron

madurar en la planta, al comparar visualmente los cosechados con los madurados en la planta no es perceptible a simple vista la diferencia de color. La variación en el índice es congruente con lo observado para la evolución de cada una de las variables en el espacio de color CIE.

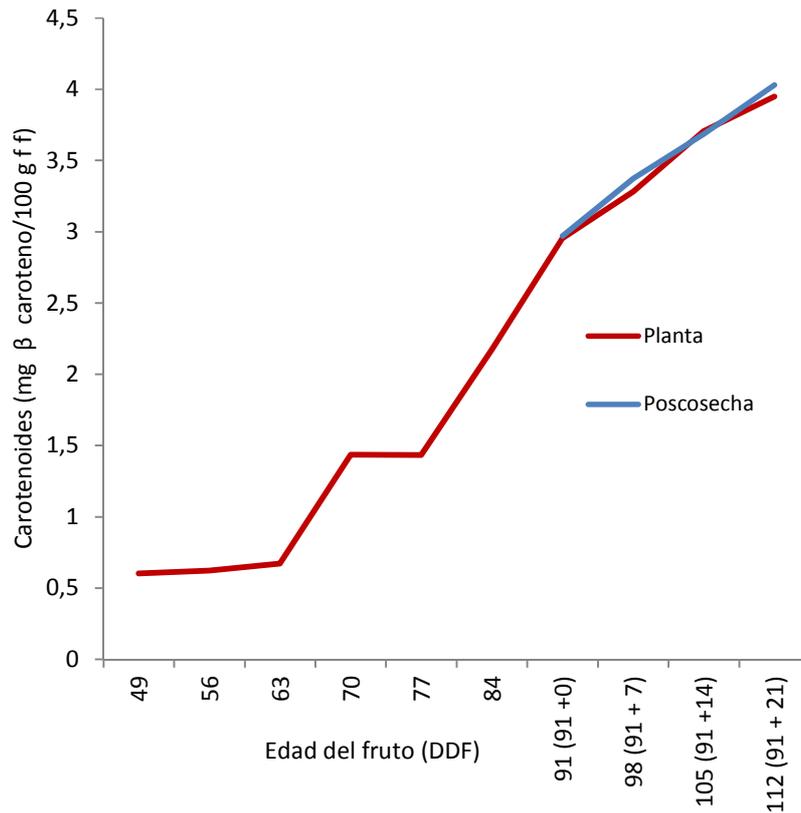
Figura 4-2: Evolución del índice a^*/b^* en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Las barras indican la desviación estándar.



4.5.2 Contenido de Carotenoides

La Figura 4-3, muestra la evolución de los carotenoides presentes en el jugo de gulupa, con un incremento constante a medida que el fruto avanza en su ontogenia, tanto en la planta como en poscosecha, similar a lo mencionado por González (2010), para otros frutos ricos en este metabolito, como la guayaba (*Psidium guajava* L.) y análogo a lo informado por Fischer y Martínez (1999), para uchuva (*Physalis peruviana* L.). En maracuyá amarillo Holden *et al.* (1999) determinaron el contenido de β -caroteno en $525 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de fruto fresco (f f), en tanto que Burgos y Calderón (2009), encontraron $743 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de carotenoides totales de las mismas condiciones del fruto, valores inferiores a los hallados en esta investigación para gulupa. Al comparar los contenidos de carotenoides obtenidos, con los medidos por Holden *et al.* (1999), en frutos de mango (*Mangifera indica* L.), naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), papaya (*Carica papaya* L.) y aguacate (*Persea americana* Mill), por Montefiori *et al.* (2009), en kiwi (*Actinidia* sp.) y por Fischer y Martínez (1999), en uchuva, se advierte que son superiores los de gulupa, pero inferiores a los determinados para zanahoria (*Dacus carota* L.), por Holden *et al.* (1999) y los de algunas variedades de guayaba (González, 2010).

Figura 4-3: Evolución del contenido de carotenoides en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).

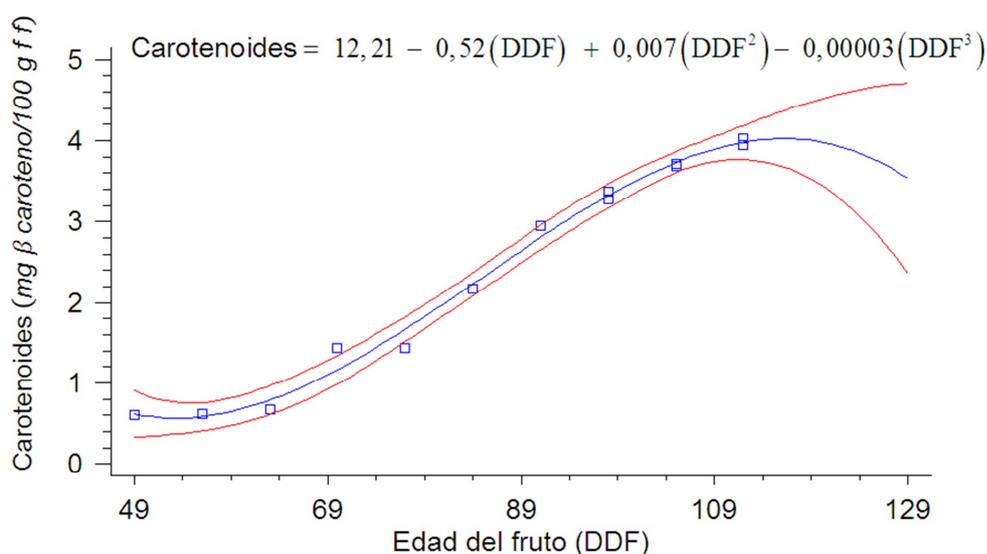


El contenido de carotenoides tuvo una relación positiva con las coordenadas de color y la edad del fruto. En efecto, por medio de dos modelos de regresión ($P \leq 0,05$), el contenido de carotenoides se calculó en función de: (i) las coordenadas de color (a^* , b^* y a^*/b^*), con un modelo múltiple, y (ii) con los DDF, con un modelo polinomial (Tabla 4-1 y Figura 4-4).

Tabla 4-1: Modelos para estimar el contenido de carotenoides en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), con base en las coordenadas de color (múltiple) y en los DDF (polinomial).

Modelo	R ²
Carotenoides = $-2,58776 + 1,39872\left(\frac{a^*}{b^*}\right) + 0,372458(a^*) + 0,401333(b^*)$	0,89
Carotenoides = $12,2077 - 0,515851(DDF) + 0,00706003(DDF^2) - 0,0000277701(DDF^3)$	0,98

Figura 4-4: Evolución del contenido de carotenoides en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) con relación a la edad. La línea azul representa la función estimada del modelo polinomial de tercer orden; las líneas rojas señalan los límites de confianza del 95% para los valores esperados; los rectángulos indican los puntos observados.



Adicional a lo expuesto por Zapata *et al.* (2007), que lograron estimar el comportamiento de los carotenoides mediante el índice a^*/b^* en tomate y Ornelas *et al.* (2008), que correlacionaron el valor a^* del CIE en mango “Manila” y “Ataulfo”, con el contenido de carotenoides; en esta investigación se pudieron emplear las coordenadas a^* , b^* y el índice de color a^*/b^* , mediante un modelo lineal para estimar la concentración de carotenos en gulupa con un R^2 0,89. Estos resultados difieren de los obtenidos por Urfalino *et al.* (2011), quienes no encontraron relación directa entre el índice de color a^*/b^* y el contenido de licopeno en tomate.

Se logró establecer también un modelo polinomial con valor de predicción R^2 0,98, que explica de manera satisfactoria, el nivel de carotenoides a través de la edad del fruto tomada como DDF.

4.6 Conclusiones

Las variaciones observadas en los cambios de color, según el espacio CIE L^* , a^* y b^* están relacionadas con la acumulación de carotenoides, por lo que la concentración del pigmento en la pulpa de gulupa, se puede estimar al medir los parámetros del espacio de color CIE L^* , a^* y b^* y el índice a^*/b^* .

El índice de color a^* y b^* , mostró diferencias entre cada uno de los períodos estudiados, por lo que se puede sugerir esta relación como índice de color para este fruto.

La evolución del fruto de gulupa en edad (DDF), está relacionada con la acumulación de carotenoides en la pulpa, por lo que entre más maduro se consuma el fruto, el contenido de este pigmento es mayor, condición que sirve para aprovechar su condición antioxidante.

Para estimar el contenido de carotenoides en la pulpa de gulupa se aportan dos herramientas a nivel de modelos matemáticos. El múltiple, apropiado para predecir esta relación cuando se usen las coordenadas del espacio de color CIE a^* , b^* y el índice a^*/b^* ; el polinomial, cuando se utilicen los DDF.

4.7 Bibliografía

- ABBOTT, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. En: Postharvest Biology and Technology 15 (3): 207–225.
- AGRONET. 2013. Sistema de estadísticas agropecuarias. Cifras comercio exterior. Exportación. Exportaciones del sector agropecuario. <http://www.agronet.gov.co>; consulta: abril 2013.
- ÁNGEL, C., NATES, G., OSPINA, R., MELO, C.; AMAYA M. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. En: Caldasia 33 (2): 433 – 451.
- ARTIGAS, J. M.; CAPILLA, P.; PUJOL, J. 2002. Tecnología del color. Universidad de Valencia. España. 428 p.
- BISWAS, A. K.; SAHOO, J.; CHATLI, M. K. 2011. A simple UV-Vis spectrophotometric method for 1 determination of β carotene content in raw carrot, sweet potato and

- supplemented chicken meat nuggets. En: Food Science and Technology 44 (8): 1809 – 1813.
- BURGOS S, J. T.; CALDERÓN R, F. R. 2009. Determinación del contenido de carotenoides totales en ocho especies de frutas y verduras comercializadas en la zona metropolitana de San Salvador. Tesis Licenciatura en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador, Centro América. 143 p.
- FISCHER, G.; MARTÍNEZ, O. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L) en relación con la coloración del fruto. En: Agronomía Colombiana 16 (1- 3): 35 – 39.
- FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, S. 2012. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Bogotá. p. 53 – 79.
- GONZÁLEZ C, I. A. 2010. Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis Magíster en Ciencias – Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá D. C. 84 p.
- HOLDEN, J. M.; ELDRIDGE, A. L.; BEECHER, G. R.; BUZZARD, I. M.; BHAGWAT, A. S.; DAVIS, C. S.; DOUGLASS, L. W.; GEBHARDT, E. S.; HAYTOWITZ, D.; SCHAKEL, S. 1999. Carotenoid content of U.S. Foods: An Update of the Data Base. En: Journal of Food Composition and Analysis 12: 169 - 196
- LOBO, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Manizales. p. 27 – 36.
- MENÉNDEZ A, O. M.; EVANGELISTA L, S.; ARENAS O, M.; BERMÚDEZ T, K.; MARTÍNEZ, A.; y JIMÉNEZ A, A. 2006. Cambios en la actividad de α amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. flavicarpa Degener). En: Interciencia 31 (10): 728 – 733.
- MÍNGUEZ M, M. I.; PÉREZ G, A.; HORNERO M, D. 2005 Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples colorantes naturales. En: Revista CTC Alimentación 26: 108-113.
- MONTEFIORI, M., MCGHIE, T. K.; HALLETT, I. C.; COSTA, G. 2009. Changes in pigments and plastid ultrastructure during ripening of green-fleshed and yellow-fleshed kiwifruit. En: Scientia Horticulturae 119 (4): 377–387.
- ORNELAS P, J. J.; YAHIA, E. M.; GARDEA, A. A. 2008. Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography–APCl⁺

- time-of-flight mass spectrometry. En: Postharvest Biology and Technology 50 (2 - 3): 145–152.
- ORTIZ V, D. C. 2010. Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims) en Colombia. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. - Genética y Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Agronomía. 127 p.
- PINZÓN F, M. I. 2000. Propiedades físicas de cosecha y poscosecha de frutos de lulo “La Selva”. 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias, Manizales. p. 386 – 397.
- PINZÓN, I. M.; FISCHER, G.; CORREDOR, G. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Agronomía Colombiana 25 (1): 83 – 95.
- PIÑEIRO, E.; ZUDAIRE, M. 2009. Los carotenoides de los alimentos. <http://consumer.es>; consulta: enero 2013.
- PRIMO Y, E. 1998. Química de los alimentos. España. Editorial Síntesis. 461 p.
- RODRÍGUEZ A, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA F, J. 2008. Update brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. En: Journal of Food Composition and Analysis 21 (6): 445 – 463.
- RODRÍGUEZ, M.; GARCÍA, C. 2010. Poscosecha, procesamiento y análisis nutracéutico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*). En: Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Memorias. Neiva, Huila, Colombia. p. 107.
- SHIOMI, S.; WAMOCHO, L. S.; AGONG, S. G. 1996. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. En: Postharvest Biology and Technology 7 (1 – 2): 161- 170.
- SILVA, S. R.; MERCADANTE, A. Z. 2002. Composição de carotenóides de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* flavicarpa) in natura. Cienc. Tecnol. Aliment 22 (3): 254 – 258.
- SLAUGHTER, D.C. 2009. Evaluación de métodos no destructivos para la detección de la madurez en mangos: Revisión bibliográfica e identificación de las necesidades de investigación a futuro. Biological and Agricultural Engineering University of California, Davis. <http://mango.org>; consulta: enero 2013.
- URFALINO, D. P.; QUIROGA, A.; WORLOCK, J. 2011. Efecto del deshidratado en el contenido de licopeno en distintos cultivares de tomate. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. <http://inta.gov.ar>; consulta: enero 2013.
- VIANNA S, T.; RESENDE, E. D.; VIANA, A. P.; CARRIELO R, R. C.; PEREIRA, S. M. F.; CARLOS, L. A.; VITORAZI, L. 2005. Influência dos estádios de maturação a qualidade do suco do maracujá-amarelo. En: Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal 27 (3): 472 – 475.

-
- VIANNA S, T.; RESENDE, E. D.; PEREIRA, S. M. F.; VIANA, A. P.; ROSA, P. C.; CARLOS, L. A.; VITORAZI, L. 2008. Influência dos estádios de maturação sobre as características dos frutos de maracujá - amarelo. En: Bragantia 67 (2): 521 – 525.
- ZAPATA, L.; GERARD, L.; DAVIES, C.; OLIVA, L.; SCHVAB, M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. En: Ciencia, Docencia y Tecnología 34 (18): 207 – 226.

104 Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Capítulo 5

Capacidad antioxidante del jugo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), durante la poscosecha

Antioxidant capacity of purple passion fruit juice (*Passiflora edulis* Sims), during postharvest

5.1 Resumen

En la actualidad existe la tendencia mundial hacia un mayor consumo de productos frutihortícolas, por su aporte de vitaminas, minerales, fibra y por el papel nutracéutico para ayudar a mantener una buena salud. La falta de información en los frutos del trópico Andino sobre su capacidad antioxidante, puede afectar, desde el punto de vista de estrategias comerciales, las potencialidades presentes en ellos aun no cuantificadas. La investigación tuvo como objetivo, contribuir al conocimiento de lo mencionado, para ello se cosecharon frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en madurez fisiológica; y se mantuvieron al ambiente (20 °C y 70% de humedad relativa) por 21 días; tiempo en el que se les midió la actividad antioxidante. Los resultados obtenidos por el método del radical catiónico ABTS•+, mostraron una tendencia ascendente a través del tiempo en poscosecha; en tanto, que al medirla por el método de la capacidad reductora de Fe⁺³ (FRAP), se observó un aumento hasta el día 14 de vida en poscosecha, lo que conduce a manifestar que es la época más recomendable para el consumo. Por otra parte, el contenido de ácido ascórbico (vitamina C), se expresó de manera inestable; pero al final de la evaluación fue evidente su aumento, mientras que el contenido de carotenoides presentó un incremento constante. Se concluyó que en gulupa la actividad antioxidante del jugo, puede estar asociada por los contenidos de ácido ascórbico y carotenoides y que es importante la definición del tiempo de consumo después de la cosecha del fruto, para aprovechar al máximo su valor nutracéutico. En general, el mantenimiento de la gulupa a temperatura ambiente (20 °C), no afecta el poder antioxidante del fruto. Los aspectos que se destacan son útiles para fortalecer la posición de la gulupa en el

mercado de exportación, si se resalta el carácter de alimento nutraceutico del jugo, debido al alto contenido de ácido ascórbico y carotenoides.

Palabras clave: ABTS, FRAP, compuestos bioactivos, frutos Andinos

5.2 Abstract

There is now a global trend towards increased consumption of fruit and vegetable products, for their contribution of vitamins, minerals, fiber, and the nutraceutical attributes, useful to maintain a good health. The lack of information on Andean tropical fruits related with their antioxidant capacity, can affect from the point of view of business strategies, the potential present in them and yet unmeasured. To contribute to the knowledge of the above, were harvested gulupa fruit (*Passiflora edulis* Sims) at physiological maturity and stored at ambient (20°C and 70% relative humidity) for 21 days, time in that was measured the antioxidant activity. The results obtained by the method of radical cation ABTS • +, showed an upward trend over time in postharvest, while when measured by the method of the reducing capacity of Fe⁺³ (FRAP) showed an upward trend until day 14 post-harvest life, which leads to say that it's the most recommended period for consumption. Moreover, the content of ascorbic acid (vitamin C), was expressed in an unstable manner, but at the end of storage the increase was evident, while the carotenoid content showed a steady rise. We conclude that in gulupa the antioxidant activity of juice, can be given by the content of ascorbic acid and carotenoids and that it is important the definition of time for consume after harvesting the fruit, in order to maximize its nutraceutical value. In sum, gulupa storage at room temperature (20 ° C), does not affect the antioxidant potential of fruit. The aspects that stand out are helpful to strengthen the gulupa position in the export market, if the character of juice as nutraceutical food is highlighted due to the high content of ascorbic acid and carotenoids.

Key words: ABTS, FRAP, bioactive compounds, Andean fruits.

5.3 Introducción

Existe la tendencia mundial hacia un mayor consumo de frutos y hortalizas, componentes importantes de la alimentación humana, por su aporte de vitaminas, minerales y fibra y por el papel nutraceutico que representan para ayudar a mantener una buena salud (Jacoby y Keller, 2006), esto también es motivado por la creciente preocupación por una dieta equilibrada, con menor cantidad de carbohidratos, grasas y aceites y con una mayor participación de vegetales. Este cambio se da debido a las menores necesidades calóricas de la vida moderna, caracterizadas por un mayor confort y sedentarismo; otro factor que determina esta tendencia, es la importancia de la dieta en la salud y longevidad (López, 2003).

En una revisión del género realizada por Dhawan *et al.* (2004), en cuanto a su morfología, microscopía, usos tradicionales, fitoconstituyentes, farmacología, aplicaciones en medicina y toxicología, encontraron en maracuyá (*Passiflora edulis* Sims), presencia de glicósidos, fenoles, alcaloides, carotenoides, L ácido ascórbico, antocianinas, γ lactonas, aromas, aceites esenciales aminoácidos, carbohidratos, minerales, enzimas y triterpenos.

Los antioxidantes, que pueden ser enzimáticos o no, se clasifican en endógenos cuando son sintetizados por las células y exógenos cuando ingresan al cuerpo por ingesta (Mayor, 2010). Este tipo de compuestos tienen la capacidad de mitigar el efecto de las especies reactivas de oxígeno (ERO), sin que ellos mismos se conviertan en un radical destructivo (Noctor y Foyer, 1998); están presentes en numerosos alimentos y protegen al hombre frente a la acción de los radicales libres (sustancias dañinas, producto del metabolismo normal del organismo), causantes del deterioro de las células, el envejecimiento y de algunas enfermedades como el cáncer, que se presentan cuando hay un exceso de radicales libres y los antioxidantes no pueden contrarrestar su acción (Landa, 2004).

Años atrás, se suponía que el proceso de oxidación en las células, se podía detener al tomar antioxidantes; pero en la actualidad, a la luz de investigaciones recientes no se ha observado el efecto que se les atribuye, sobre todo en la forma de suplementos multivitamínicos o medicamentos, debido a que no ayudan a detener los procesos de envejecimiento y degeneración celular, por lo que se aconseja que sólo se prescriban cuando hay carencias diagnosticadas de vitaminas. Sin embargo, los antioxidantes son importantes para el organismo, pero es suficiente con ingerir los que contienen los alimentos (Schmidt y Papaleo, 2013; Wenner, 2013).

Los principales antioxidantes presentes en los vegetales son los carotenoides, polifenoles y las vitaminas antioxidantes. Los carotenoides son pigmentos accesorios que en la fotosíntesis, actúan como sustancias fotoprotectoras; se les atribuye la propiedad de capturar el oxígeno "singlete", inhiben la propagación de ERO y otros radicales libres y son complemento alimenticio (Rodríguez, 1999; Mínguez *et al.*, 2005). Los compuestos fenólicos son responsables de funciones estructurales y protectoras en la planta, (Soto *et al.*, 2011). Los frutos y las hortalizas se conocen como buenas fuentes de vitaminas antioxidantes, tales como E, C, y β -caroteno (Bliss, 2007).

La actividad de los sistemas enzimáticos antioxidantes se reduce a medida que avanza el proceso de maduración y es probable que el sistema de defensa antioxidante juegue un papel importante en la maduración y senescencia de frutos. El contenido de antioxidantes en los vegetales está determinado por numerosos factores que intervienen en la síntesis de estos compuestos, como la especie, variedad, condiciones de cultivo, zona geográfica, factores fisiológicos y la maduración. Debido a esto, es importante valorar los productos locales para poder conocer la evolución de estos atributos en ellos (Rodrigo *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2007; Chaves *et al.*, 2013). Pérez y Saura (2007) expresan que la capacidad antioxidante total de una muestra está determinada por interacciones entre diferentes compuestos y por el modo de acción de cada uno de ellos, por ello aconsejan emplear más de un método para evaluar correctamente la capacidad antioxidante de un producto, como por ejemplo combinar el método FRAP, que mide la reducción de Fe, con un método, que determine la captación de radicales libres.

La evolución de la actividad antioxidante a través de la maduración de productos frutihortícolas ha sido valorada en diferentes especies; en pimentón (*Capsicum annuum* L. cv. Kulai), Keat *et al.* (2012) analizaron cinco estados de maduración y establecieron que el potencial antioxidante, medido por el método FRAP y el contenido de ácido ascórbico se incrementaron en el transcurso de la maduración; resultados similares encontraron Chaves *et al.* (2013), al estudiar cinco estados de madurez en pimentón rojo, donde observaron que en la actividad antioxidante total medida por el método DPPH, el ácido ascórbico y los carotenoides aumentaron a medida que el fruto maduraba. Ilahy *et al.* (2011), observaron una tendencia al incremento de la actividad antioxidante total medida por los métodos ABTS y FRAP al analizar cuatro materiales de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), en cuatro estados de maduración, a medida que los frutos estaban más maduros; comportamientos similares se apreciaron al considerar el contenido de carotenoides; los valores de ácido ascórbico presentaron en general, tendencia al aumento con algunas disminuciones en períodos intermedios de los estados de madurez evaluados. En esta misma especie Zapata *et al.* (2007) determinaron que los antioxidantes totales, medidos por el método FRAP, así como el contenido de carotenoides y el ácido ascórbico, tienden a incrementarse durante el crecimiento, almacenamiento y comercialización de tomate. Rodríguez *et al.* (2010) estimaron la actividad antioxidante total, medida por el método FRAP y el ácido ascórbico, en mora (*Rubus glaucus* Benth.), maracuyá (*Passiflora edulis* Sims), guayaba (*Psidium guajava* L.) y papayuela (*Carica cundinamarcensis* J.) en tres estados de madurez y notaron que aumentan del estado inmaduro al totalmente maduro para todas las especies.

Sin embargo, todas las especies no presentan el comportamiento descrito anteriormente, es decir, el nivel de antioxidantes puede ser menor hacia la madurez total, si se le compara con estados inmaduros, este caso lo verificaron Huang *et al.* (2007), al determinar la actividad antioxidante medida por el método FRAP, en tres materiales de naranja dulce (*Citrus sinensis* L.) en siete estados de maduración; donde encontraron que durante los primeros tres estados ésta aumentó y presentó tendencia decreciente a partir del cuarto estado de maduración como consecuencia de la reducción del contenido de ascorbato y de los compuestos polifenólicos que posee este fruto. En mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw) Gaviria *et al.* (2012) advirtieron que los valores TEAC-DPPH y TEAC-ABTS se incrementaban en las primeras semanas de desarrollo del fruto, para disminuir al avanzar este estado; en la actividad reductora FRAP registraron un comportamiento similar a la actividad evaluada con el radical ABTS. Gordon *et al.* (2012), al medir capacidad antioxidante del açai (*Euterpe oleraceae* Mart) por el método ABTS, percibieron que fue mayor en estados inmaduros del fruto y luego, descendió a medida que el fruto maduró. Situación semejante mencionan Villacorta *et al.* (2012) quienes determinaron la actividad antioxidante medida por DPPH, FRAP, ABTS y ORAC, en seis estados de crecimiento del fruto de guayaba del Perú (*Psidium cattleianum* Sabine.), que resultó mayor en los estados tempranos de crecimiento del fruto, debido a la alta concentración de los compuestos polifenólicos; situación que explican por la acción de protección de las células al daño oxidativo, causado por la elevada producción de ERO, debido a la respiración y la actividad fotosintética. Observaron también que el ácido ascórbico disminuyó, para luego aumentar hacia el final de la maduración. Awad *et al.* (2011), al comparar cinco estados del proceso de maduración de la palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.), encontraron una tendencia al aumento de la concentración del ácido ascórbico con una ligera disminución en el último estado.

Mediciones sobre la capacidad antioxidante total en un sólo estado de maduración del fruto se emplean para conocer este atributo en especies de interés económico. Al

respecto, Vasco *et al.* (2008) separaron en tres grupos a 17 especies frutícolas cultivadas en Ecuador; con base en la capacidad antioxidante medida por los métodos DPPH, FRAP y ABTS y el contenido de polifenoles solubles totales, donde se calificó al maracuyá amarillo y la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), con baja capacidad antioxidante y contenido fenólico y la curuba (*Passiflora mollissima* (H.B.K.) L. H. Bailey), fue categorizada en la escala más alta. Los mismos autores catalogaron la guayaba con capacidad antioxidante media, atributo que en opinión de Thaipong *et al.* (2006), se debe al ácido ascórbico y al contenido de fenoles. En pulpa de gulupa, Rodríguez y García (2010), con el método FRAP, establecieron una capacidad antioxidante para extracto y néctar de 146,72 mg ácido ascórbico/100 g de extracto y 123,6 mg ácido ascórbico/100 g de néctar.

Esta investigación tuvo como objetivo valorar la capacidad antioxidante de la gulupa durante la poscosecha al medir contenidos totales y específicos en este fruto, con el fin de agregarle valor a sus atributos de comercialización.

5.4 Materiales y Métodos

5.4.1 Ubicación

El cultivo experimental se plantó en el municipio de Rionegro, departamento de Antioquia, Centro de Investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, latitud norte 6° 7' 49'' y longitud oeste 75° 24' 49'' a 2.090 msnm, con temperatura promedio anual de 17°C, precipitación promedio anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedio de 78%, brillo solar promedio anual de 1.726 horas/año, evapotranspiración promedio de 1.202 mm, ubicado en la zona de vida ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo (bh – MB).

5.4.2 Material biológico

El trabajo de campo se hizo en un área experimental donde se estableció al azar una población compuesta por 10 materiales de gulupa, provenientes de los departamentos de Antioquia, Putumayo y Nariño (Colombia), que hacen parte del banco de germoplasma de la nación colombiana, administrado por Corpoica y que según Ortiz (2010), reporta baja variabilidad genética, determinada con marcadores moleculares AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism) y SSRs (Secuencias Simples Repetidas).

Para la obtención de los frutos, se marcaron con hilos de colores, flores que estuvieran en la fases homógama con y sin hercogamia según lo recomendado por Ángel *et al.* (2011), para tomar la rotulación mencionada, como día cero de edad del fruto, en tanto que la época de cosecha se realizó a los 91 días según lo establecido por Franco *et al.* (2013).

5.4.3 Procedimiento experimental

Para todos los análisis se hicieron muestreos destructivos cada siete días a partir de los 91 DDF, con seguimiento hasta el día 21 siguiente a la cosecha. La unidad de muestreo para cada época estimada la constituyeron 10 frutos, que se tomaron al azar en los materiales seleccionados con conformación de muestras balanceadas e independientes en cuanto al tamaño del fruto; estos se transportaron en caja de poliestireno expandido que contenía hielo seco con temperatura interna de 4 °C aproximadamente y se mantuvieron al ambiente en una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 70%. Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de Ciencia de los Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín los 7, 14 y 21 días después de cosechados.

Obtención de la pulpa. Se cortaron los frutos por la zona ecuatorial. Para los análisis de carotenoides y ácido ascórbico, se separó con espátula la cáscara de la pulpa para retirar las semillas. Para los análisis por ABTS [2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6- ácido sulfónico)] y FRAP (poder reductor), se utilizó el jugo con las semillas.

Para precisar la capacidad antioxidante por los métodos ABTS, FRAP y análisis por HPLC (cromatografía líquida de alta eficiencia), fue necesario realizar un tratamiento inicial de la muestra, que consistió en pesar alrededor de 5 g de pulpa (arilo y semilla) y adicionar 20 mL de agua Tipo 1. Esta solución se preparó en un homogeneizador Ultra-Turrax Brand: IKA-WERK®, una vez acondicionada la solución, se filtró con papel Watman No 1; para obtener la muestra a ser analizada.

Capacidad antioxidante por el método del radical catiónico ABTS•+. Se determinó según la metodología modificada de Re *et al.* (1999). El protocolo se basa en la capacidad de los compuestos antioxidantes para atrapar el radical catiónico ABTS•+, al donar un electrón o un protón, lo que causa la decoloración del radical; este se genera por la reacción de oxidación del ABTS (3,5 mM) con persulfato de potasio (1,25 mM). Después de 24 horas de reacción, se ajusta la absorbancia con buffer fosfato pH 7,4, hasta 0,7 unidades, a una longitud de onda de 732 nm. Para la evaluación se adicionaron 990 µL de la solución ABTS con 10 µL de la solución muestra. La mezcla de reacción se dejó en reposo y en oscuridad por 30 min. Posteriormente se midió la absorbancia a 732 nm. Los resultados se expresaron como valores de TEAC (µmol de Trolox®/100 g de fruto fresco (f f)), mediante la construcción de una curva patrón con varias concentraciones de antioxidante Trolox®. De los 10 frutos de cada muestreo se extrajo la pulpa que fue homogeneizada para tomar tres muestras para la determinación.

Capacidad antioxidante por la determinación de la capacidad reductora de Fe+3: ensayo FRAP. Se realizó según el método de Benzie y Strain (1996). Con esta técnica se evalúa el potencial antioxidante de una muestra de acuerdo con su capacidad para reducir el Fe⁺³ presente en un complejo con la 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) hasta la forma ferrosa (Fe⁺²), que muestra un máximo de absorbancia a una longitud de onda entre 590 - 595 nm. Se llevó a cabo en un buffer de ácido acético-acetato de sodio (pH 3,4), que contenía TPTZ y FeCl₃. Se utilizaron 900 µL de ésta solución, 50 µL de muestra y 50 µL de la solución buffer. Luego de 30 min de reacción se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 590 nm. Para cada muestra se tuvo en cuenta la lectura de la

absorbancia del blanco sin cromóforo. La curva de referencia se construyó con ácido ascórbico como patrón primario. La actividad de las muestras en estudio, se expresó como valor FRAP (g de ácido ascórbico por cada 100 g de muestra). De los 10 frutos de cada muestreo se extrajo el jugo que fue homogeneizado, para tomar tres muestras para la determinación.

Determinación de ácido ascórbico. Se estableció mediante análisis por HPLC, según lo propuesto por Kelebek *et al.* (2009). El extracto acuoso se filtró (tamaño de poro 0,45 μm) y se hicieron diluciones en agua supra-pura, antes de la inyección al cromatógrafo. Se empleó un cromatógrafo líquido Shimadzu® modelo LC-20AD, equipado con un auto inyector SIL-20A/HT, un módulo de comunicación CBM-20A y un (PDA) SPD-M20A, calibrado a 245 nm. La cuantificación del ácido ascórbico se realizó con una columna C-8 (5 μm , 250 mm x 4,6 mm). Como fase móvil se usó ácido fórmico 0,1%. La razón de flujo de la fase móvil fue de 0,8 mL/min, a 35°C y en condiciones isocráticas. La identificación y cuantificación se hizo con curvas de calibración elaboradas con diferentes concentraciones de ácido ascórbico. De los 10 frutos de cada muestreo se extrajo el jugo que fue homogeneizado, para tomar tres muestras para la determinación.

Determinación de carotenoides. Se usó el método descrito por Biswas *et al.* (2011). Para ello se tomó en un tubo de ensayo 1 g de muestra; se adicionaron 5 mL de acetona fría se dejó reposar alrededor de 15 min en refrigerador (4°C), pasado este tiempo se agitó en vórtex por 2 min. La mezcla se centrifugó a 1.370 gravedades durante 10 min; el sobrenadante se recolectó en otro tubo de ensayo. El precipitado se re-extrajo con 5 mL de acetona fría y se repitió todo el proceso anterior. Ambos extractos acetónicos se mezclaron, luego se filtraron en papel Whatmann No. 42 y se determinó la absorbancia a 449 nm. La concentración de carotenoides se estipuló mediante la curva de calibración respectiva, con β -Caroteno como sustancia patrón.

El equipo empleado para la preparación de la muestra fue una centrífuga de capacidad media y alta velocidad Hermle Labnet® modelo Z366; para la determinación de la absorbancia a 449, 590 y 732 nm se utilizó un espectrofotómetro Multiskan Spectrum Thermo Scientific® modelo V1.2. Los datos se obtuvieron por medio del SkanIt Software 2.4.2 RE for Multiskan Spectrum.

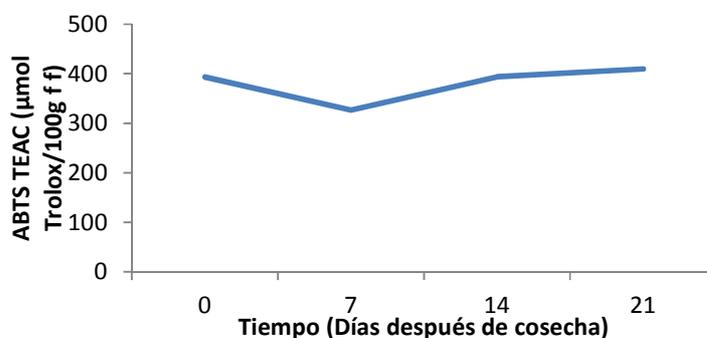
5.5 Resultados y Discusión

5.5.1 Capacidad antioxidante

Determinada por el método del radical catiónico ABTS•+. Se notó un comportamiento con tendencia ascendente a partir de los 7 DDC (Figura 5-1), en concordancia con los resultados observados en otras especies como tomate (Ilahy *et al.*, 2011), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y fresa híbrida (*Fragaria x ananassa*) por Piljac y Šamec (2011), quienes al mantenerlas a temperatura ambiente (25 °C), registraron aumentos en su actividad antioxidante; mientras que en frutos de guinda (*Prunus cerasus* L.) y grosella (*Ribes rubrum* L.), permanecían estables; estos resultados están en contraposición a lo

expresado por Gordon *et al.* (2012), que en açai verificaron mayor actividad en estados inmaduros del fruto, para luego descender a medida que se expresaba la maduración y por Piljac y Šamec (2011), quienes manifestaron que la capacidad antioxidante del cerezo silvestre (*Prunus avium* L.), disminuyó durante el almacenamiento en poscosecha. Kuskoski *et al.* (2005) observaron en pulpa comercial de maracuyá, 2,3 $\mu\text{mol TE/g}$ peso fresco, cifra inferior a la hallada en esta investigación para todas las épocas evaluadas, con 3,9 $\mu\text{mol TE/g}$ de f f; pero menores a los datos suministrados por Contreras *et al.* (2011), en pasifloras relacionadas con gulupa, como curuba (*P. mollissima* (H.B.K.) L. H. Bailey y *P. tarminiana* Coppens & V.E. Barney) que tienen alta capacidad antioxidante (ABTS), con valores de 131 y 144 $\mu\text{mol TE/g}$ peso fresco.

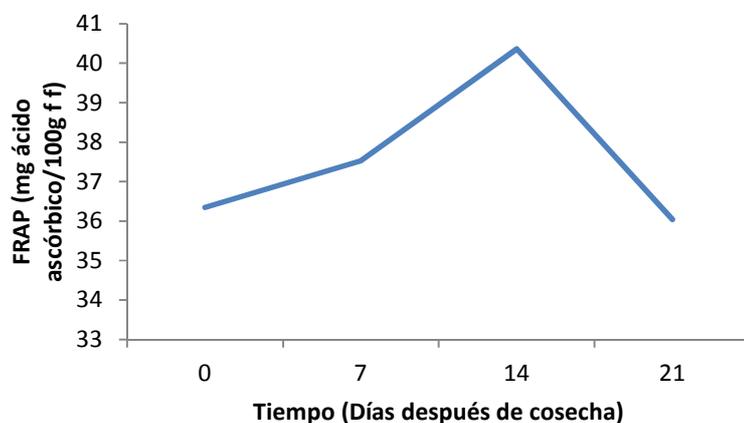
Figura 5-1: Variación de la capacidad antioxidante total del jugo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), por ABTS $^{•+}$.



Deteminada por la capacidad reductora de Fe^{+3} : ensayo FRAP. Se apreció una trayectoria creciente hasta el día 14 de vida en poscosecha, cuando se registraron 40,36 mg ácido ascórbico/100 g de f f (Figura 5-2), valor inferior a los medidos por Rodríguez y García (2010), en extracto y néctar de gulupa, medidos con el método FRAP, que permitieron estimar una capacidad antioxidante de 146,72 mg ácido ascórbico/100 g en extracto y 123,6 mg ácido ascórbico/100 g en néctar. Por otra parte, el descenso en la actividad total antioxidante expresada en el contenido de ácido ascórbico a partir del día 14 de vida en poscosecha, es similar en su tendencia a lo observado en los resultados obtenidos con el método FRAP en naranja dulce por Huang *et al.* (2007) y en mortiño por Gaviria *et al.* (2012), pero difiere de lo informado por Zapata *et al.* (2007), en tomate, Villacorta *et al.* (2012), en guayaba del Perú y Rodríguez *et al.* (2010), en maracuyá, mora, guayaba y papayuela, al afirmar que los antioxidantes totales tienden a incrementarse a medida que el fruto madura.

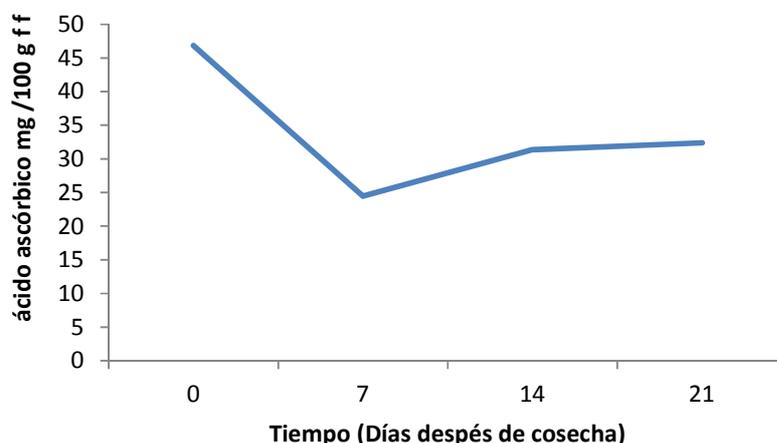
Lo mencionado conduce a manifestar que, a los 14 días de vida en poscosecha, es la época más recomendable para el consumo, si se tiene en cuenta un factor importante como es la apariencia física del fruto, debido a que por este tiempo, se da inicio a la manifestación de la deshidratación de la cáscara, causada por la pérdida de agua por transpiración; además, se debe considerar que la actividad antioxidante declina hacia el día 21 después de cosechado el fruto.

Figura 5-2: Variación de la capacidad antioxidante total del jugo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), por determinada por FRAP.



Ácido ascórbico (vitamina C). Disminuyó hasta 24,44 mg de ácido ascórbico/100 g de f f en el día siete de poscosecha, para luego alcanzar un valor de 32,39 mg de ácido ascórbico/100 g de f f, en el día 21 de poscosecha (Figura 5-3), ello coincide con lo afirmado para frutos de gulupa por Flórez *et al.* (2012). Vasco *et al.* (2008) señalan como altos los registros de 30 – 40 mg/100 g de peso seco de frutos para ácido ascórbico observados en maracuyá; lo que permite incluir en la categoría mencionada a la gulupa, debido a que presenta cifras muy similares, pero advierten que otras pasifloras como la curuba tiene mayor cantidad de ácido ascórbico, mientras que en granadilla es menor. La reducción observada en la cantidad del ácido, se ajusta a la opinión de Wills *et al.* (1984), debido a que los ácidos son sustratos respirables y al ser la gulupa un fruto climatérico (Flórez *et al.*, 2012), podrían ser utilizados en ese proceso, o convertirse en azúcares.

Figura 5-3: Variación del contenido de ácido ascórbico en jugo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



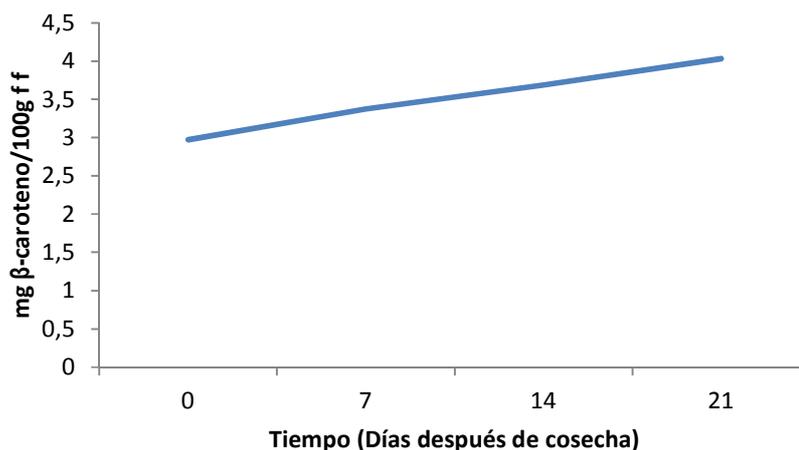
Según Flórez *et al.* (2012), el nivel del ácido ascórbico varía en función de la procedencia del material, al presentar valores diferentes según de la localidad; afirmación que resultó de los estudios realizados en varios municipios del departamento de Cundinamarca (Colombia) y que, al compararlos con los de esta investigación, discrepan en su cuantía, debido a que son menores los medidos en plantaciones ubicadas en los municipios de Granada y Tena (Cundinamarca, Colombia) y similares a los de las establecidas en municipio de Chía, en la misma región. Según los resultados obtenidos, se destaca al fruto de gulupa como una buena fuente de vitamina C, que de acuerdo con Wills *et al.* (1984), su consumo diario se tasa en 50 mg.

Asimismo Villacorta *et al.* (2012) en guayaba del Perú, apreciaron que el ácido ascórbico disminuía en la fase temprana del proceso de maduración, para luego incrementarse hacia el final de la misma; similar a lo ocurrido para gulupa en este trabajo y a las tendencias vistas en el proceso de maduración en dátil por Awad *et al.* (2011) y en tomate por Ilahy *et al.* (2011). En contraste, otros investigadores evidenciaron que el contenido de ácido ascórbico tiende a aumentar continuamente durante la maduración del pimentón (Keat *et al.*, 2012), mora, maracuyá, guayaba y papayuela (Rodríguez *et al.*, 2010).

Carotenoides. El contenido de carotenoides presentó un incremento constante hasta alcanzar los 4,03 mg de β -caroteno/100 g de f f (Figura 5-4), lo que concuerda con los resultados expuestos por Zapata *et al.* (2007) e Ilahy *et al.* (2011), al observar tendencia parecida en la maduración de frutos de tomate y Awad *et al.* (2011), en dátil y similar a lo señalado por González (2010), en otros frutos ricos en este metabolito como guayaba, así mismo, como lo notado en uchuva (*Physalis peruviana* L), por Fischer y Martínez (1999). Por otra parte, en maracuyá amarillo Holden *et al.* (1999) determinaron un contenido de β caroteno de 525 μg 100 g^{-1} de f f y Burgos y Calderón (2009) encontraron un contenido de carotenoides totales de 743 μg 100 g^{-1} de f f, valores inferiores a los

obtenidos en esta investigación. En gulupa el incremento en el contenido de carotenoides puede estar relacionado con la mayor actividad antioxidante del fruto como respuesta al estrés oxidativo tal como lo expresan Gaviria *et al.* (2012), en mortiño.

Figura 5-4: Variación de los carotenoides totales en jugo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).



Al comparar los niveles de carotenoides obtenidos, con los referidos por Holden *et al.* (1999), para otras especies de frutales distintas a las pasifloráceas, como mango (*Mangifera indica* L.), naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck.), papaya (*Carica papaya* L.) y aguacate (*Persea americana* Mill.), por Montefiori *et al.* (2009), para kiwi (*Actinidia* sp) y por Fischer y Martínez (1999), para uchuva, se encuentra que son superiores los de gulupa, pero inferiores a los de zanahoria (*Dacus carota* L.) y a los de algunas variedades de guayaba (González, 2010).

5.6 Conclusiones

La definición del tiempo de consumo después de la cosecha del fruto es importante, para aprovechar al máximo el valor nutracéutico del jugo.

En gulupa el potencial de la actividad antioxidante del jugo, esta dado por los contenidos de ácido ascórbico y carotenoides

El mantenimiento de la gulupa a temperatura ambiente (20°C), no afecta su capacidad antioxidante del fruto.

Se debe estudiar como se puede posicionar más la gulupa en el mercado de exportación, al aprovechar su condición de alimento nutracéutico, por el alto contenido de vitamina C y carotenoides.

5.7 Bibliografía

- ÁNGEL, C., NATES, G., OSPINA, R., MELO, C.; AMAYA M. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. En: *Caldasia* 33 (2): 433 – 451.
- AWAD, M. A.; AL-QURASHI, A. D.; A, SALEH A. MOHAMED, S. A. 2011. Antioxidant capacity, antioxidant compounds and antioxidant enzyme activities in five date cultivars during development and ripening. En: *Scientia Horticulturae* 129 (4): 688 - 693.
- BENZIE I, F. R.; STRAIN, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. En: *Analytical Biochemistry* 239 (1): 70 – 76.
- BISWAS, A. K.; SAHOO, J.; CHATLI; M. K. 2011. A simple UV-Vis spectrophotometric method for 1 determination of β -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. En: *Food Science and Technology* 44 (8): 1809 – 1813.
- BLISS, R. M. 2007. Datos útiles sobre los antioxidantes alimentarios. United States Department of Agriculture, USDA. <http://ars.usda.gov>; consulta: febrero 2013.
- BURGOS S, J. T.; CALDERÓN R, F. R. 2009. Determinación del contenido de carotenoides totales en ocho especies de frutas y verduras comercializadas en la zona metropolitana de San Salvador. Tesis Licenciatura en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador, Centro América. 143 p.
- CHAVES, G.; MONTIEL, G. M.; SGROPPO, S. C. AVANZA, J. R. 2013. Capacidad antioxidante de pimientos morrones. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000. <http://unne.edu.ar>; consulta: abril 2013.
- CONTRERAS C, J.; CALDERÓN J, L.; GUERRA H, E.; GARCÍA V, B. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. En: *Food Research International* 44 (7): 2047 – 2053.
- DHAWAN, K.; DHAWAN, S AND SHARMA, A. 2004. *Passiflora*: a review update. En: *Journal of Ethnopharmacology* 94(1): 1 – 23.

- FISCHER, G.; MARTÍNEZ, O. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. En: Agronomía Colombiana 16(1-3): 35 – 39.
- FLÓREZ, L. M.; PÉREZ, L. V.; MELGAREJO, L. M.; HERNÁNDEZ, S. 2012. Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. En: MELGAREJO, L. M. Ed. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá. p 33 – 51.
- FRANCO, G.; CARTAGENA V, J. R.; CORREA L, G. A. 2013. Informe. Análisis de crecimiento del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en las condiciones ecológicas del bosque húmedo montano bajo de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias. 12 p.
- GAVIRIA M, C.; HERNÁNDEZ A, J. D.; LOBO A, M.; MEDINA C, C. I.; ROJANO, B. A. 2012. Cambios en la actividad antioxidante en frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw.) durante su desarrollo y maduración. En: Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 65 (1): 6487 - 6495.
- GONZÁLEZ C, I. A. 2010. Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. En: Tesis Magíster en Ciencias – Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá D. C. 84 p.
- GORDON, A.; GIL C, A. P.; CORREA C, L. M.; CORDEIRO DE F, S.; ARAUJO D, C. M.; MARINO D, C. M.; MATTIETTO, R.; FRIEDRICH, M.; MARTINS DA M, V.; MARX, F. 2012. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açai fruits (Euterpeoleraceae Mart.) during ripening. En: Food Chemistry 133 (2): 256 - 263
- HOLDEN, J. M.; ELDRIDGE, A. L.; BEECHER, G. R.; BUZZARD, I. M.; BHAGWAT, A. S.; DAVIS, C. S.; DOUGLASS, L. W.; GEBHARDT, E. S.; HAYTOWITZ, D.; SCHAKEL, S. 1999. Carotenoid Content of U.S. Foods: An Update of the Database. En: Journal of Food Composition and Analysis 12: 169 - 196.
- HUANG, R.; RENXUE XIA, R.; HU, L.; LU, Y.; WANG, M. 2007. Antioxidant activity and oxygen-scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation. En: Scientia Horticulturae 113 (2): 166 – 172.
- ILAHY, R.; HDIDER, C.; LENUCCI, M .S.; TLILI, I.; DALESSANDRO, G. 2011. Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. En: Journal of Food Composition and Analysis 24 (4 – 5): 588 – 595.
- JACOBY, E.; KELLER, I. 2006. La promoción del consumo de frutas y verduras en América Latina: Buena oportunidad de acción intersectorial por una alimentación saludable. En: Rev. Chil. Nutr. 33 S1: 226 - 231.
- JACOBSEN, S. E.; MUJICA, A., ORTIZ, R. 2003. La importancia de los cultivos andinos. En: Rev. Vzlana de Soc. y Ant. 13 (36): 14 - 24.

- KEAT T, C.; ALI, Z. M.; ZAINAL, Z. 2012. Changes in ethylene production, carbohydrase activity and antioxidant status in pepper fruits during ripening. En: Scientia Horticulturae 142: 23 - 31
- KELEBEK, H.; SELLI, S.; CANBAS, A.; CABAROGLU, T. 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kosan. En: Microchemical Journal 91 (2): 187 - 92.
- KUSKOSKI, M. E.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI F, J.; Y FETT, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. En: Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas 25 (4): 726 - 732.
- LANDA, M. 2004. Antioxidantes. Fundación Eroski. <http://consumer.es/web/es/alimentacion>; consulta: diciembre 2011.
- LOBO, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. 3 Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Memorias. Manizales. p. 27 – 36.
- LÓPEZ C, A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. En: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151 Roma. p. 95 – 111.
- MAYOR O, R. 2010. Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante. Revisión. En: Rev. Inst. Med. Trop. 5 (2): 23-29.
- MÍNGUEZ M, M. I.; PÉREZ G, A.; HORNERO M, D. 2005. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples colorantes naturales. En: Revista CTC Alimentación 26: 108-113.
- MONTEFIORI, M., MCGHIE, T. K.; HALLETT, I. C.; COSTA, G. 2009. Changes in pigments and plastid ultrastructure during ripening of green-fleshed and yellow-fleshed kiwifruit. En: Scientia Horticulturae 119 (4): 377 – 387.
- NOCTOR, G.; FOYER, C. H. 1998. Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. En: Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol 49 (1): 249–279.
- ORTIZ, D. C. 2010. Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. En: Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. 127 p.
- PÉREZ J, J.; Y SAURA C, F. 2007. Metodología para la evaluación de capacidad antioxidante en frutas y hortalizas. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena (Murcia, España). p. 1150 – 1160.
- PILJAC. Ž, J.; ŠAMEC, D. 2011. Antioxidant stability of small fruits in postharvest storage at room and refrigerator temperatures. En: Food Research International 44 (1): 345 – 350.

- RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE E, A. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. En: Free Radical Biology & Medicine 26 (9–10): 1231 – 1237.
- RODRÍGUEZ A, D. B. 1999. Carotenoides y Preparación de Alimentos: La Retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos Preparados, Procesados y Almacenados. John Snow, Inc. 99 p.
- RODRÍGUEZ, L.; LÓPEZ, L.; GARCÍA, M. 2010. Determinación de la composición química y actividad antioxidante en distintos estados de madurez de frutas de consumo habitual en Colombia, mora (*Rubus glaucus* B.), maracuyá (*Passiflora edulis* S.), guayaba (*Psidium guajava* L.) y papayuela (*Carica cundinamarcensis* J.). En: Alimentos Hoy 19 (21): 35 – 42.
- RODRÍGUEZ, M.; GARCÍA, C. 2010. Poscosecha, procesamiento y análisis nutracéutico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*). En: Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Pasiflora. Resumen. Neiva, Huila, Colombia. p 107.
- RODRIGO G, J.; ÁLVAREZP, E.; DE LA ROSA, L. A.; MERCADO M, G.; HERRERA D, B. 2006. Valoración de la capacidad antioxidante y actividad polifenol oxidasa en duraznos de diferentes áreas de producción. I Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, San Pedro, SP Brazil. p. 111 - 116.
- SCHMIDT, F.; PAPALEO, C. 2013. ¿Adiós a los antioxidantes?. Deutsche Welle. <http://dw.de/actualidad/ciencia-y-ecología/s-7577>; consulta: enero 2013.
- SOTO, M. L.; MOURE, A.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. 2011. Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. En: Journal of Food Engineering 105 (1): 1 - 27.
- THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS Z, L.; HAWKINS B, D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. En: Journal of Food Composition and Analysis 19 (6-07): 669 – 675.
- VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL E, A. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. En: Food Chemistry 111 (4): 816 – 823.
- VILLACORTA L, V.; OSORIO V, L. F.; ROJANO, B. A. 2012. Informe. Cambios en la actividad antioxidante durante el desarrollo de frutos de *Psidium cattleianum* Sabine (Myrtaceae). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. 24 p.
- WENNER M, M. 2013. The myth of antioxidants. En: Scientific American 308: 62 – 67.
- WILLS, R. H. H.; LEE, T. H.; MC GLASSON, W. R.; HALL, E. G.; GRAHAM, D. 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Acribia. Zaragoza. 195 p.
- ZAPATA; L. M.; GERARD, L.; DAVIES, C.; SCHVAB, M. 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. En: Ciencia, Docencia y Tecnología 35(18): 173 – 193.

Anexo A:

Promedios y desviación estándar, de las variables de crecimiento y desarrollo, químicas y bioquímicas, según la edad de los frutos (días después de floración) madurados en la planta y en poscosecha.

Días Después de Floración (DDF)	Peso seco (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)
7	0,208±0,042	1,655±0,130	2,146±0,172
14	1,918±0,233	3,849±0,212	4,907±0,202
21	3,026±0,333	4,719±0,220	5,460±0,216
28	3,661±0,705	4,818±0,168	5,431±0,265
35	6,334±2,613	5,208±0,147	5,971±0,168
42	5,906±0,758	5,246±0,298	6,048±0,312
49	6,398±1,761	5,402±0,194	6,137±0,196
56	7,655±0,862	5,344±0,136	5,659±0,275
63	7,893±0,890	5,419±0,169	5,578±0,146
70	9,494±0,914	5,194±0,146	5,792±0,129
77	9,660±0,971	5,083±0,206	5,943±0,343
84	9,875±1,127	4,963±0,253	5,362±0,283
91	11,782±1,325	5,443±0,137	5,887±0,152
98	10,574±1,954	5,368±0,255	5,724±0,136
105	12,204±1,069	5,330±0,151	5,761±0,303
112	12,030±0,736	5,324±0,200	5,721±0,148

Anexo A. Promedios y desviación estándar, de las variables 125 de crecimiento y desarrollo, químicas y bioquímicas, según la edad de los frutos (días después de floración) madurados en la planta y en poscosecha.

Días Después de Floración (DDF)	Peso cáscara (g)		Peso pulpa (g)		Peso semillas (g)	
	Planta	Poscosecha	planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	27,967±2,827		12,477±1,312		5,049±0,742	
56	32,742±2,241		15,015±0,843		4,309±0,785	
63	34,971±2,254		15,499±0,729		6,486±0,928	
70	30,941±7,218		20,582±2,673		5,870±1,418	
77	27,653±1,382		18,948±1,576		6,049±0,914	
84	26,026±1,131		22,560±2,999		4,523±1,118	
91	28,899±1,405		28,180±2,376		5,553±0,423	
98 (91+ 7)	29,938±1,749	15,987±3,708	25,361±1,869	21,929±2,674	6,6130,688	4,233±0,791
105 (91 + 14)	28,944±2,049	10,589±3,596	27,262±3,626	21,344±4,825	5,566±0,512	4,904±1,845
112 (91 + 21)	29,972±1,923	7,083±1,968	25,824±1,999	19,956±3,827	6,633±0,449	4,410±1,040

Días Después de Floración (DDF)	Sólidos solubles totales (°Brix)		Acidez ácido cítrico (%)		pH	
	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	8,050±0,497		2,794±0,660		3,050±0,061	
56	11,560±0,369		4,767±0,220		2,823±0,095	
63	11,610±0,690		4,996±0,457		2,962±0,065	
70	11,950±1,235		4,827±0,394		2,807±0,108	
77	12,100±0,984		4,740±0,212		2,632±0,061	
84	13,290±0,509		4,595±0,230		2,721±0,053	
91	14,460±0,427		4,531±0,336		2,661±0,043	
98 (91+ 7)	14,620±1,304	15,390±0,425	4,364±0,086	3,802±0,104	2,764±0,039	2,603±0,081
105 (91 + 14)	15,640±0,440	15,730±0,383	4,406±0,278	3,175±0,053	2,783±0,082	2,695±0,081
112 (91 + 21)	16,140±0,291	15,840±0,715	4,430±0,178	2,875±0,081	2,669±0,040	2,823±0,103

Días Después de Floración (DDF)	Forma fruto (diámetro polar/diámetro ecuatorial) (cm)	Firmeza (kgf)
	Planta	Planta
7	1,297±0,054	4,771±0,508
14	1,276±0,033	6,823±0,718
21	1,422±0,094	8,583±0,697
28	1,127±0,042	8,183±0,908
35	1,147±0,030	7,005±0,375
42	1,153±0,027	6,897±0,677
49	1,136±0,027	6,247±0,662
56	1,060±0,063	5,794±0,348
63	1,030±0,040	5,630±0,552
70	1,116±0,032	4,700±0,633
77	1,169±0,040	4,332±0,307
84	1,081±0,046	3,723±0,477
91	1,082±0,038	3,712±0,322
98	1,068±0,041	3,887±0,436
105	1,081±0,050	5,335±0,849
112	1,076±0,036	4,435±0,509

Días Después de Cosecha	Pérdida fisiológica peso (g)
0	0,000±0,000
7	11,610±4,300
14	16,292±4,759
21	28,126±5,837

Anexo A. Promedios y desviación estándar, de las variables 127 de crecimiento y desarrollo, químicas y bioquímicas, según la edad de los frutos (días después de floración) madurados en la planta y en poscosecha.

Días Después de Floración (DDF)	Ácido cítrico		Ácido ascórbico	
	mg/100 g de fruto fresco			
	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	25,963		33,502	
56	40,254		27,222	
63	50,214		31,525	
70	38,667		28,407	
77	96,594		43,529	
84	52,949		34,542	
91	23,903		42,637	
98 (91+ 7)	64,039	45,658	38,640	24,435
105 (91 + 14)	31,323	42,515	34,063	31,351
112 (91 + 21)	19,324	16,801	28,503	32,389

Días Después de Floración (DDF)	Ácido málico		Ácido oxálico	
	mg/100 g de fruto fresco			
	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	5,886		0,735	
56	6,142		0,728	
63	5,418		0,760	
70	3,787		0,612	
77	5,411		1,133	
84	4,212		0,901	
91	3,853		0,681	
98 (91+ 7)	11,090	7,196	0,843	0,882
105 (91 + 14)	3,548	4,190	0,723	0,796
112 (91 + 21)	3,246	3,143	0,723	0,749

Días Después de Floración (DDF)	Sacarosa		Glucosa	
	mg/100 g de fruto fresco			
	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	351,537		2006,026	
56	1245,765		647,691	
63	1154,311		966,020	
70	1098,369		1441,852	
77	1573,516		1836,208	
84	7169,014		3532,709	
91	1637,764		2452,742	
98 (91+ 7)	500,082	4132,612	3858,684	4938,122
105 (91 + 14)	753,842	2688,489	4281,668	3223,366
112 (91 + 21)	432,181	1218,710	2601,375	1728,302

Días Después de Floración	Fructosa	
	mg/100 g de fruto fresco	
	Planta	Poscosecha
49	1488,132	
56	1163,086	
63	1616,978	
70	1997,757	
77	3005,813	
84	3872,097	
91	2793,134	
98 (91+ 7)	4082,951	5690,153
105 (91 + 14)	4837,490	3620,928
112 (91 + 21)	3030,404	1923,386

Anexo A. Promedios y desviación estándar, de las variables 129 de crecimiento y desarrollo, químicas y bioquímicas, según la edad de los frutos (días después de floración) madurados en la planta y en poscosecha.

Días Después de Floración	Carotenoides	
	mg β -caroteno/100 g fruto fresco	
	Planta	Poscosecha
49	0,602	
56	0,622	
63	0,672	
70	1,435	
77	1,432	
84	2,174	
91	2,956	
98 (91+ 7)	3,283	3,373
105 (91 + 14)	3,707	3,686
112 (91 + 21)	3,949	4,030

Días Después de Floración	Actividad específica α Amilasa		Actividad específica Poligalacturonasa	
	μ mol de maltosa/min/mg de proteína		μ mol ácido galacturónico/min/mg de proteína	
	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	3,028		0,868	
56	3,191		3,854	
63	3,373		1,732	
70	11,405		0,881	
77	3,490		0,638	
84	1,351		0,556	
91	0,467		7,086	
98 (91+ 7)	0,575	0,853	7,089	8,761
105 (91 + 14)	0,711	0,596	6,488	5,649
112 (91 + 21)	1,026	0,360	4,794	4,324

Días Después de Floración (DDF)	Actividad específica Pectinmetil esterasa		Actividad específica Polifenoloxidasa	
	Δ Abs/min mg de proteína		UA/min mg de proteína	
	Planta	Poscosecha	Planta	Poscosecha
49	0,696		1,83E-05	
56	1,947		1,06E-06	
63	2,598		2,45E-05	
70	18,206		1,13E-06	
77	13,181		5,06E-06	
84	0,947		3,50E-07	
91	3,334		8,93E-07	
98 (91+ 7)	1,534	0,689	7,85E-07	6,59E-07
105 (91 + 14)	0,899	0,399	3,01E-06	2,26E-06
112 (91 + 21)	0,540	0,235	3,60E-06	2,21E-06

Días Después de Cosecha	Actividad antioxidante total	
	ABTS	FRAP
	μ mol Trolox/100g fruto fresco	mg ácido ascórbico/ 100 g fruto fresco
0	393,278	36,348
7	326,647	37,527
14	393,954	40,364
21	409,834	36,042

Anexo A. Promedios y desviación estándar, de las variables 131
de crecimiento y desarrollo, químicas y bioquímicas, según la
edad de los frutos (días después de floración) madurados en
la planta y en poscosecha.

Anexo A. Promedios y desviación estándar, de las variables 133
de crecimiento y desarrollo, químicas y bioquímicas, según la
edad de los frutos (días después de floración) madurados en
la planta y en poscosecha.

Anexo B:

**Salidas del proceso estadístico en la
modelación de variables
fisicoquímicas.**

31, 2013 1 MONOMOLECULAR-WEBER PARA PESO SECO 10:23 Monday, May

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search			
A	B	C	Sum of Squares
200.0	0.2000	0.0500	3824286

31, 2013 2 MONOMOLECULAR-WEBER PARA PESO SECO 10:23 Monday, May

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase				
Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	200.0	0.2000	0.0500	3824286
1	11.7218	0.1788	0.0464	1189.7
2	11.0621	0.2019	0.0210	414.2
3	14.1853	0.0926	0.0147	203.3
4	17.1120	0.0539	0.0107	186.7
5	18.3478	0.0527	0.0104	159.8
6	18.3726	0.0526	0.0104	159.8
7	18.3726	0.0526	0.0104	159.8

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	7
Subiterations	8
Average Subiterations	1.142857
R	1.644E-8
PPC(B)	6.958E-8
RPC(B)	5.521E-6
Object	2.12E-12
Objective	159.7801
Observations Read	150
Observations Used	147
Observations Missing	3

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	2	2034.0	1017.0	916.56	<.0001
Error	144	159.8	1.1096		
Corrected Total	146	2193.8			

Limits	Parameter	Estimate	Approx	
			Std Error	Approximate 95% Confidence
	A	18.3726	1.7316	14.9499 21.7953
	B	0.0526	0.0212	0.0107 0.0945
	C	0.0104	0.00165	0.00714 0.0137

MONOMOLECULAR-WEBER PARA PESO SECO 10:23 Monday, May

31, 2013 3

The NLIN Procedure

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.8092974	-0.9872950
B	-0.8092974	1.0000000	0.8742390
C	-0.9872950	0.8742390	1.0000000

31, 2013 4

10:23 Monday, May

MONOMOLECULAR-WEBER

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
165.438	0	1.05337	0.92459

MONOMOLECULAR-WEBER PARA DIÁMETRO POLAR

5

May 31, 2013

10:23 Monday,

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
200.0	0.2000	0.0500	4372338

MONOMOLECULAR-WEBER PARA DIÁMETRO POLAR

6

May 31, 2013

10:23 Monday,

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase

Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	200.0	0.2000	0.0500	4372338
1	5.4684	0.1972	0.0511	249.2
2	5.4836	0.1089	0.0903	53.7671
3	5.7195	0.5817	0.1533	15.5742
4	5.7743	0.8307	0.1856	13.5248
5	5.7762	0.8763	0.1919	13.4957
6	5.7760	0.8807	0.1925	13.4955
7	5.7760	0.8810	0.1926	13.4955
8	5.7760	0.8810	0.1926	13.4955
9	5.7760	0.8810	0.1926	13.4955

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	9
R	8.593E-8
PPC(B)	1.221E-7
RPC(B)	1.751E-6
Object	1.63E-12
Objective	13.49547

Observations Read 160
Observations Used 160
Observations Missing 0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	2	125.6	62.8008	730.59	<.0001
Error	157	13.4955	0.0860		
Corrected Total	159	139.1			

MONOMOLECULAR-WEBER PARA DIÁMETRO POLAR

7

10:23 Monday,

May 31, 2013

The NLIN Procedure

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence	
A	5.7760	0.0261	5.7244	5.8276
B	0.8810	0.1030	0.6776	1.0844
C	0.1926	0.0135	0.1659	0.2193

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.2955080	-0.3449840
B	-0.2955080	1.0000000	0.9698410
C	-0.3449840	0.9698410	1.0000000

MONOMOLECULAR-WEBER

10:23 Monday, May

31, 2013 8

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
13.8462	0	0.29319	0.99369

MONOMOLECULAR-WEBER PARA DIÁMETRO ECUATORIAL

9

10:23 Monday,

May 31, 2013

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search			Sum of Squares
A	B	C	
200.0	0.2000	0.0500	4401867

MONOMOLECULAR-WEBER PARA DIÁMETRO ECUATORIAL

10

10:23 Monday,

May 31, 2013

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase				Sum of Squares
Iter	A	B	C	

0	200.0	0.2000	0.0500	4401867
1	5.1734	0.1981	0.0506	99.4438
2	5.1797	0.1291	0.0753	20.0260
3	5.2886	0.2550	0.0933	12.3795
4	5.3014	0.2726	0.0954	12.3161
5	5.3015	0.2726	0.0954	12.3161

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	5
R	3.194E-7
PPC(B)	6.513E-7
RPC(B)	0.000144
Object	2.233E-7
Objective	12.31609
Observations Read	160
Observations Used	160
Observations Missing	0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	2	139.4	69.7219	888.78	<.0001
Error	157	12.3161	0.0784		
Corrected Total	159	151.8			

Limits	Parameter	Estimate	Approx	Approximate 95% Confidence	
			Std Error		
	A	5.3015	0.0283	5.2456	5.3574
	B	0.2726	0.0496	0.1747	0.3705
	C	0.0954	0.00502	0.0855	0.1053

MONOMOLECULAR-WEBER PARA DIÁMETRO ECUATORIAL

11

10:23 Monday,

May 31, 2013

The NLIN Procedure

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.3372626	-0.4904761
B	-0.3372626	1.0000000	0.8954161
C	-0.4904761	0.8954161	1.0000000

31, 2013 12

MONOMOLECULAR-WEBER

10:23 Monday, May

	PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
MODELO KORSUN PARA ESPESOR DE LA CÁSCARA	12.8769	1.1417E-9	0.28008	0.99413

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search			
A	B	C	Sum of Squares
5.0000	1.0000	0.6000	7.5325

MODELO KORSUN PARA ESPESOR DE LA CÁSCARA

The NLIN Procedure
 Dependent Variable Y
 Method: Marquardt

Iterative Phase				
Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	5.0000	1.0000	0.6000	7.5325
1	0.4558	0.9823	0.2995	1.1132
2	-0.9049	1.0795	0.2440	0.7633
3	-3.0991	2.1812	0.3820	0.7092
4	-18.0482	9.2181	1.2070	0.4860
5	-40.6884	19.8804	2.4579	0.3438
6	-44.3621	21.5915	2.6566	0.3407
7	-44.2525	21.5357	2.6496	0.3407
8	-44.2865	21.5519	2.6515	0.3407
9	-44.2830	21.5502	2.6513	0.3407
10	-44.2835	21.5505	2.6513	0.3407
11	-44.2834	21.5504	2.6513	0.3407

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	11
Subiterations	6
Average Subiterations	0.545455
R	2.376E-7
PPC(A)	1.903E-7
RPC(A)	1.435E-6
Object	2.87E-12
Objective	0.340707
Observations Read	100
Observations Used	99
Observations Missing	1

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	3	20.9881	6.9960	1971.25	<.0001
Error	96	0.3407	0.00355		
Uncorrected Total	99	21.3288			

MODELO KORSUN PARA ESPESOR DE LA CÁSCARA

The NLIN Procedure

Limits	Parameter	Estimate	Approx	Approximate 95% Confidence	
			Std Error		
	A	-44.2834	4.3832	-52.9841	-35.5828
	B	21.5504	2.0678	17.4458	25.6551
	C	2.6513	0.2434	2.1682	3.1344

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.9996101	-0.9984354
B	-0.9996101	1.0000000	0.9996052
C	-0.9984354	0.9996052	1.0000000

MODELO KORSUN PARA ESPESOR DE LA CÁSCARA

Obs	CSS
1	2.62854

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
0.36153	-.001970213	0.059574	0.86246

MODELO KORSUN PARA FIRMEZA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
7.0000	1.0000	0.6000	613.2

MODELO KORSUN PARA FIRMEZA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase

Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	7.0000	1.0000	0.6000	613.2
1	2.1296	1.0189	0.2636	76.3291
2	1.4417	1.0224	0.2327	20.0360
3	0.9389	1.2031	0.2478	19.4429
4	-2.2012	2.7095	0.4280	18.6934
5	-12.0354	7.4254	0.9921	17.2912
6	-16.8343	9.7273	1.2675	17.1173
7	-16.9656	9.7905	1.2751	17.1171
8	-16.9690	9.7921	1.2753	17.1171
9	-16.9690	9.7922	1.2753	17.1171

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	9
Subiterations	6
Average Subiterations	0.666667
R	4.58E-8
PPC(A)	1.282E-7
RPC(A)	5.046E-6
Object	3.33E-12
Objective	17.11713

Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en
condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Observations Read	70
Observations Used	69
Observations Missing	1

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	3	1743.0	581.0	2240.19	<.0001
Error	66	17.1171	0.2594		
Uncorrected Total	69	1760.1			

MODELO KORSUN PARA FIRMEZA

The NLIN Procedure

Limits	Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence	
	A	-16.9690	5.9695	-28.8875	-5.0506
	B	9.7922	2.8623	4.0775	15.5069
	C	1.2753	0.3425	0.5914	1.9591

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.9997638	-0.9990569
B	-0.9997638	1.0000000	0.9997636
C	-0.9990569	0.9997636	1.0000000

MODELO KORSUN PARA FIRMEZA

Obs	CSS
1	76.8475

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
18.8936	.000406928	0.50926	0.75414

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA PULPA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
5.0000	2.0000	0.6000	25771.4

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA PULPA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase

Iter	A	B	C	Sum of Squares

0	5.0000	2.0000	0.6000	25771.4
1	-0.0631	1.9578	0.2814	2751.9
2	-1.4619	2.0302	0.2235	1584.8
3	-2.9632	2.7393	0.3074	1527.2
4	-13.1684	7.4762	0.8551	1257.9
5	-30.1821	15.3713	1.7679	1049.1
6	-34.4074	17.3290	1.9940	1040.6
7	-34.5028	17.3735	1.9992	1040.6
8	-34.5045	17.3743	1.9993	1040.6

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	8
Subiterations	6
Average Subiterations	0.75
R	7.825E-7
PPC(A)	9.752E-7
RPC(A)	0.00005
Object	1.664E-9
Objective	1040.624
Observations Read	100
Observations Used	100
Observations Missing	0

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	3	51377.0	17125.7	1596.34	<.0001
Error	97	1040.6	10.7281		
Uncorrected Total	100	52417.6			

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA PULPA

The NLIN Procedure

Limits	Parameter	Estimate	Approx	
			Std Error	Approximate 95% Confidence
	A	-34.5045	4.8594	-44.1491 -24.8598
	B	17.3743	2.2493	12.9099 21.8387
	C	1.9993	0.2597	1.4837 2.5148

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.9995941	-0.9984243
B	-0.9995941	1.0000000	0.9996157
C	-0.9984243	0.9996157	1.0000000

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA PULPA

Obs	CSS
1	1762.05

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
1104.49	.002084556	3.27538	0.37318

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA CÁSCARA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
5.0000	2.0000	0.6000	18751.2

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA CÁSCARA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase

Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	5.0000	2.0000	0.6000	18751.2
1	0.9362	1.9968	0.3381	5090.1
2	0.6300	2.1380	0.3589	4613.4
3	-2.5976	3.6522	0.5360	4377.2
4	-23.2488	13.3670	1.6742	3188.9
5	-55.9160	28.7297	3.4743	2356.9
6	-64.0178	32.5238	3.9174	2324.0
7	-64.1348	32.5731	3.9226	2323.9
8	-64.1566	32.5833	3.9237	2323.9
9	-64.1565	32.5833	3.9237	2323.9

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	9
Subiterations	6
Average Subiterations	0.666667
R	8.175E-7
PPC(A)	9.06E-7
RPC(C)	1.323E-6
Objective	2.37E-10
Objective	2323.888
Observations Read	100
Observations Used	100
Observations Missing	0

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	3	58855.2	19618.4	818.88	<.0001
Error	97	2323.9	23.9576		
Uncorrected Total	100	61179.1			

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA CÁSCARA

The NLIN Procedure

Limits	Parameter	Estimate	Approx	Approximate 95% Confidence	
			Std Error		
	A	-64.1565	7.2881	-78.6216	-49.6915
	B	32.5833	3.4313	25.7732	39.3934
	C	3.9237	0.4032	3.1236	4.7239

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.9996123	-0.9984529
B	-0.9996123	1.0000000	0.9996120
C	-0.9984529	0.9996120	1.0000000

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA CÁSCARA

Obs CSS

1 8936.17

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
2475.18	-0.069760	4.89465	0.72302

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA SEMILLA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
7.0000	1.0000	0.6000	1676.8

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA SEMILLA

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase

Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	7.0000	1.0000	0.6000	1676.8
1	-1.0408	0.9730	0.0560	1447.3
2	-0.4926	0.9620	0.1023	202.6
3	-1.0051	1.3885	0.1785	152.2
4	-8.2427	4.7700	0.5724	144.8
5	-19.9636	10.2301	1.2059	139.3
6	-22.7937	11.5495	1.3592	139.1
7	-22.9112	11.6048	1.3657	139.0
8	-22.9166	11.6074	1.3660	139.0
9	-22.9168	11.6075	1.3660	139.0

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	9
Subiterations	6
Average Subiterations	0.666667
R	1.719E-7
PPC(A)	4.894E-7
RPC(A)	0.000011
Object	1.49E-11
Objective	139.0499
Observations Read	100
Observations Used	100
Observations Missing	0

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	3	2662.5	887.5	619.10	<.0001
Error	97	139.0	1.4335		
Uncorrected Total	100	2801.5			

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA SEMILLA

The NLIN Procedure

Limits	Parameter	Estimate	Approx	
			Std Error	Approximate 95% Confidence
	A	-22.9168	7.3483	-37.5013 -8.3323
	B	11.6075	3.4178	4.8241 18.3909
	C	1.3660	0.3964	0.5792 2.1528

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.9995982	-0.9984330
B	-0.9995982	1.0000000	0.9996156
C	-0.9984330	0.9996156	1.0000000

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA SEMILLA

Obs	CSS
1	161.037

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
147.229	.000954788	1.19729	0.085746

MODELO KORSUN PARA SÓLIDOS SOLUBLES

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search			Sum of Squares
A	B	C	

4.0000 2.0000 0.6000 10285.4

MODELO KORSUN PARA SÓLIDOS SOLUBLES

The NLIN Procedure
 Dependent Variable Y
 Method: Marquardt

Iter	Iterative Phase			Sum of Squares
	A	B	C	
0	4.0000	2.0000	0.6000	10285.4
1	2.0154	2.0098	0.4599	6496.7
2	-3.0673	1.9855	0.1464	1401.9
3	-3.2104	1.9727	0.1475	92.3537
4	-3.3177	2.0136	0.1527	78.0175
5	-3.9297	2.2956	0.1851	77.7586
6	-4.8220	2.7070	0.2324	77.5992
7	-4.9433	2.7630	0.2388	77.5970
8	-4.9384	2.7608	0.2385	77.5970
9	-4.9386	2.7609	0.2386	77.5970

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	9
Subiterations	7
Average Subiterations	0.777778
R	4.231E-7
PPC(C)	2.045E-6
RPC(C)	0.000047
Object	9.02E-11
Objective	77.59701
Observations Read	90
Observations Used	90
Observations Missing	0

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	3	16045.4	5348.5	5996.57	<.0001
Error	87	77.5970	0.8919		
Uncorrected Total	90	16123.0			

MODELO KORSUN PARA SÓLIDOS SOLUBLES

The NLIN Procedure

Limits	Parameter	Estimate	Approx	
			Std Error	Approximate 95% Confidence
	A	-4.9386	2.4236	-9.7559 -0.1214
	B	2.7609	1.1164	0.5419 4.9798
	C	0.2386	0.1282	-0.0163 0.4934

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.9995203	-0.9981977
B	-0.9995203	1.0000000	0.9995752
C	-0.9981977	0.9995752	1.0000000

MODELO KORSUN PARA PESO DE LA SEMILLA

Obs	CSS
1	554.685

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
83.4165	-.000690959	0.94442	0.84961

MODELO KORSUN PARA PH

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
6.5000	1.0000	0.6000	410.8

MODELO KORSUN PARA PH

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y
Method: Marquardt

Iterative Phase

Iter	A	B	C	Sum of Squares
0	6.5000	1.0000	0.6000	410.8
1	-0.0271	0.9711	0.1587	32.6562
2	-0.5616	0.9398	0.1312	2.1289
3	-0.2503	0.7312	0.1005	1.7137
4	0.2729	0.4850	0.0717	1.6413
5	0.8825	0.2010	0.0387	1.5640
6	0.9765	0.1572	0.0336	1.5526
7	1.0923	0.1032	0.0274	1.5388
8	1.2341	0.0372	0.0197	1.5222
9	1.2561	0.0269	0.0185	1.5196
10	1.2836	0.0141	0.0170	1.5165
11	1.2879	0.0121	0.0168	1.5160
12	1.2933	0.00962	0.0165	1.5154
13	1.3000	0.00650	0.0161	1.5146
14	1.3084	0.00260	0.0157	1.5136
15	1.3097	0.00199	0.0156	1.5135
16	1.3113	0.00123	0.0155	1.5133
17	1.3133	0.000284	0.0154	1.5131
18	1.3136	0.000136	0.0154	1.5130
19	1.3137	0.000113	0.0154	1.5130
20	1.3138	0.000084	0.0154	1.5130
21	1.3138	0.000047	0.0154	1.5130
22	1.3139	2.123E-6	0.0154	1.5130
23	1.3139	1E-8	0.0154	1.5130
24	1.3139	1E-8	0.0154	1.5130
25	1.3139	1E-8	0.0154	1.5130
26	1.3139	1E-8	0.0154	1.5130

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	26
Subiterations	34
Average Subiterations	1.307692
R	2.52E-7
PPC(C)	3.187E-7
RPC(C)	8.61E-6
Object	4.73E-11
Objective	1.513006
Observations Read	100
Observations Used	100
Observations Missing	0

MODELO KORSUN PARA PH

The NLIN Procedure

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Model	2	772.5	386.2	25016.6	<.0001
Error	98	1.5130	0.0154		
Uncorrected Total	100	774.0			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits		Label
A	1.3139	0.0374	1.2397	1.3881	
B	1E-8	0	1E-8	1E-8	
C	0.0154	0.00197	0.0115	0.0193	
Bound0	0.1228	0.0247	0.0744	0.1712	0 < B

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	.	0.9928292
B	.	.	.
C	0.9928292	.	1.0000000

MODELO KORSUN PARA PH

Obs	CSS
1	2.43260

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
1.58210	.000034466	0.12489	0.34963

MODELO KORSUN PARA ACIDEZ

The NLIN Procedure
Dependent Variable Y

Grid Search

A	B	C	Sum of Squares
---	---	---	----------------

A	1.0000000	-0.9995981	-0.9984242
B	-0.9995981	1.0000000	0.9996117
C	-0.9984242	0.9996117	1.0000000

MODELO KORSUN PARA ACIDEZ

Obs	CSS
1	77.3638

MODELO KORSUN

PRESS	SESGO	EMC	R2PRED
18.9604	-.001671112	0.42476	0.75492

Carotenoides regresión multiple

Dependent variable: Carotenoides

Independent variables:

- a_b
- a
- b

		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	-2.58776	1.86396	-1.38831	0.1984
a_b	1.39872	0.677323	2.06507	0.0689
a	0.372458	0.0859066	4.33561	0.0019
b	0.401333	0.129884	3.08993	0.0129

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	19.9666	3	6.65552	34.37	0.0000
Residual	1.74303	9	0.19367		
Total (Corr.)	21.7096	12			

R-squared = 91.9712 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 89.2949 percent
 Standard Error of Est. = 0.440079
 Mean absolute error = 0.316777
 Durbin-Watson statistic = 2.55359 (P=0.6590)
 Lag 1 residual autocorrelation = -0.334099

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between Carotenoides and 3 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\text{Carotenoides} = -2.58776 + 1.39872 \cdot a_b + 0.372458 \cdot a + 0.401333 \cdot b$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 91.9712% of the variability in Carotenoides.

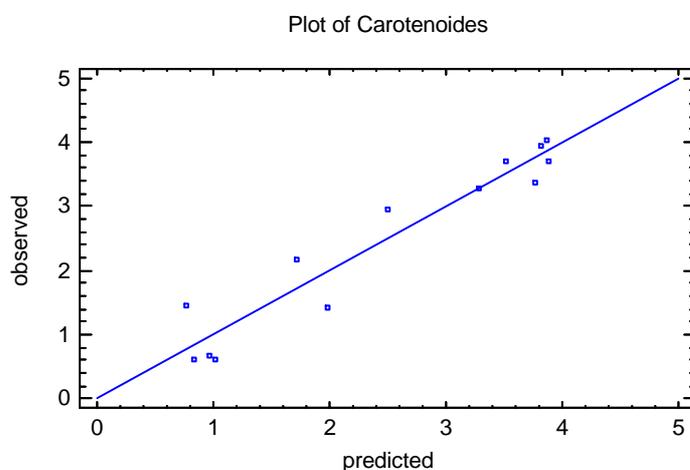
The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 89.2949%.

The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.440079. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.316777 is the average value of the residuals.

The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0689, belonging to a_b. Since the P-value is greater or equal to 0.05, that term is not statistically significant at the 95.0% or higher confidence level. Consequently, you should consider removing a_b from the model.

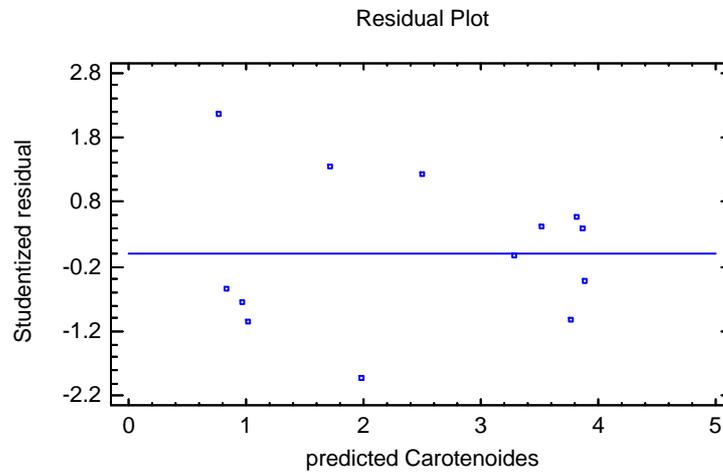


Unusual Residuals

		<i>Predicted</i>		<i>Studentized</i>
<i>Row</i>	<i>Y</i>	<i>Y</i>	<i>Residual</i>	<i>Residual</i>
4	1.43507	0.760124	0.674943	2.15

The StatAdvisor

The table of unusual residuals lists all observations which have Studentized residuals greater than 2 in absolute value. Studentized residuals measure how many standard deviations each observed value of Carotenoides deviates from a model fitted using all of the data except that observation. In this case, there is one Studentized residual greater than 2, but none greater than 3.



Influential Points

		<i>Mahalanobis</i>	
<i>Row</i>	<i>Leverage</i>	<i>Distance</i>	<i>DFITS</i>
4	0.287716	3.52661	1.36855
5	0.456509	8.32284	-1.75749

Average leverage of single data point = 0.307692

The StatAdvisor

The table of influential data points lists all observations which have leverage values greater than 3 times that of an average data point, or which have an unusually large value of DFITS. Leverage is a statistic which measures how influential each observation is in determining the coefficients of the estimated model. DFITS is a statistic which measures how much the estimated coefficients would change if each observation was removed from the data set. In this case, an average data point would have a leverage value equal to 0.307692. There are no data points with more than 3 times the average leverage. There are 2 data points with unusually large values of DFITS.

