

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES BROMATOLÓGICAS,
FÍSICOQUÍMICAS, TERMOFÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CAIMITO
(*chrysophyllum cainito L*) VARIEDAD MORADO CULTIVADO EN EL
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA Y ANTIOQUIA**

AUTORES

ISABEL CRISTINA GÓMEZ MARQUEZ

ORFA NELLY URREA CIRO

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

BERÁSTEGUI -CÓRDOBA

2016

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES BROMATOLÓGICAS,
FÍSICOQUÍMICAS, TERMOFÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CAIMITO
(*chrysophyllum cainito L*) VARIEDAD MORADO CULTIVADO EN EL
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA Y ANTIOQUIA**

AUTORES

ISABEL CRISTINA GÓMEZ MARQUEZ

ORFA NELLY URREA CIRO

DIRECTOR: ARMANDO ALVIS BERMUDEZ Ing. Ph.D.

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

BERÁSTEGUI -CÓRDOBA

2016

RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

**El jurado calificador no se hace responsable de las ideas emitidas por los autores.
(Artículo 46, acuerdo 006 de Mayo 29 de 1979) Consejo Superior**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Berástegui, fecha de sustentación

DEDICATORIA

A Dios por regalarme salud, entendimiento y perseverancia para sacar adelante este gran reto.

A mis padres María Rubiela y Jesús Urrea quienes fueron mi mayor motivación para ser cada día mejor y lograr alcanzar la meta.

A mis hermanos en especial Mi hermana María Cecilia y su esposo Luis Eduardo por creer en mí y por regalarme ese apoyo incondicional.

A todas las personas que colaboraron para que esta etapa de mi vida pueda culminar.

Orfa Nelly Urrea Ciro

A Dios primero que todo por todas las bendiciones que me regala a diario y por permitirme seguir y culminar una etapa más de este largo camino.

A mi madre Josefa porque ha sido mi gran ejemplo, mi amiga y mi apoyo incondicional.

A mi familia y amigos porque de una u otra forma han estado a mi lado y me han motivado para seguir adelante.

Isabel Cristina

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, por habernos brindado una excelente calidad académica.

Al laboratorio GIPAVE, por facilitarnos sus instalaciones y equipos para el desarrollo de este trabajo.

ARMANDO ALVIS BERMUDEZ, nuestro director por ser una valiosa guía y asesoramiento de la presente tesis.

EMIRO LOPEZ y DAVID IBAÑEZ, jurados de este trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	11
2. ABSTRACT.....	13
3. INTRODUCCIÓN.....	15
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
4.1 Caimito (<i>Chrysophyllum caimito</i> L).....	17
4.1.1 REFERENCIA HISTÓRICA.....	17
4.1.2 GENERALIDADES.....	17
4.1.3 FORMAS DE CONSUMO Y UTILIZACIÓN.....	18
4.1.4 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA.....	18
4.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	19
4.1.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL CAIMITO.....	19
4.1.7 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	19
4.1.7.1 Color.....	20
4.1.7.2 pH.....	20
4.1.7.3 Acidez.....	21
4.1.7.4 Sólidos solubles totales (°Brix)	21
4.1.7.5 Índice de madurez.....	21
4.1.8 PROPIEDADES TERMOFÍSICAS	21
4.1.9 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	23
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
5.2 LOCALIZACIÓN	25
5.3 VARIABLES.....	25
5.3.1 Variables independientes.....	25
5.3.2 Variables dependientes.....	25
5.4 PROCEDIMIENTO.....	26

5.4.1 Recolección del fruto.....	26
5.4.2 Lavado del fruto.....	26
5.4.3 Extracción de la pulpa.....	27
5.5 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO.....	27
5.6 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	28
5.6.1 Características físicas.....	28
5.6.1.1 Tamaño y peso.....	28
5.6.1.2 Determinación de parámetros de color mediante colorímetro COLORFLEX EZ 45 (HUNTERLAB®).....	28
5.6.2 Caracterización química.....	28
5.6.3 Determinación del rendimiento de la pulpa.....	29
5.7 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TERMOFÍSICAS....	29
5.8 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	29
5.9 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	31
6.1 CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DEL CAIMITO (<i>Chrysophyllum cainito</i> L) CULTIVADO EN CÓRDOBA Y ANTIOQUIA...	31
6.1.1 Análisis de humedad.....	32
6.1.2 Análisis de proteína.....	32
6.1.3 Análisis de grasa.....	32
6.1.4 Análisis de fibra.....	33
6.1.5 Análisis de cenizas.....	33
6.1.6 Análisis de azúcares reductores.....	33
6.1.7 Análisis de carbohidratos totales.....	34
6.1.8 Análisis de calorías de la pulpa del caimito.....	34
6.2 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL CAIMITO	34
(<i>Chrysophyllum cainito</i> L) CULTIVADO EN CÓRDOBA Y ANTIOQUIA...	
6.2.1 Análisis de tamaño peso y rendimiento.....	35
6.2.2 Análisis de pH.....	36
6.2.3 Análisis de % de acidez.....	36
6.2.4 Análisis de sólidos solubles totales.....	36
6.2.5 Análisis de índice de madurez	37

6.3 CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DEL CAIMITO (<i>Chrysophyllum cainito L</i>).....	37
6.4 CARACTERIZACIÓN TERMOFÍSICA DEL CAIMITO (<i>Chrysophyllum cainito L</i>).....	39
6.5 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL CAIMITO (<i>Chrysophyllum cainito L</i>).....	40
7. CONCLUSIONES.....	43
8. RECOMENDACIONES.....	45
9. BIBLIOGRAFÍA.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción taxonómica del caimito	18
Tabla 2. Composición química de la parte comestible del fruto caimito (100 g fruta).....	19
Tabla 3. Características fisicoquímicas del fruto caimito.....	19
Tabla 4. Modelos usados por Choi y Okkos (1985)	22
Tabla 5. Métodos y normas utilizados en la caracterización bromatológicas del caimito (<i>Chrysophyllum cainito</i> L).....	27
Tabla 6. Métodos y normas utilizados en la caracterización química del caimito	29
Tabla 7. Caracterización bromatológica del caimito cultivado en Antioquia y Córdoba	31
Tabla 8. Características fisicoquímicas del fruto caimito variedad morado	35
Tabla 9. Parámetros colorimétricos de la pulpa del caimito en las dos zonas de cultivo.	37
Tabla 10. Parámetros Termofísicos de la Pulpa caimito en las dos zonas de cultivo	39
Tabla 11. Propiedades mecánicas del caimito en las dos zonas de cultivo	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Programa DEPROTER en operación	23
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Identificación del caimito de Córdoba y Antioquia	53
Anexo 2 . Lavado del fruto y extracción de la pulpa del caimito	53
Anexo 3 . Determinación de las propiedades fisicoquímicas.....	53
Anexo 4 . Determinación de parametros, Cielab mediante colorímetro Colorflex Ez 45 (HUNTERLAB ®).....	54
Anexo 5. Determinación de las propiedades mecánicas del caimito	54

1. RESUMEN

En este trabajo se determinaron las propiedades bromatológicas (Humedad, proteínas, grasa, fibra, cenizas, azúcares reductores, carbohidratos totales y energía), fisicoquímicas (tamaño y peso, rendimiento, acidez, sólidos solubles totales, pH, parámetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C^* y h^*) e índice de madurez) de la pulpa del caimito. Los resultados bromatológicos se llevaron al software DEPROTER para calcular las propiedades termofísicas del caimito: calor específico (C_p), densidad (ρ), conductividad térmica (K) y difusividad térmica (α), además, se determinaron las propiedades mecánicas (firmeza, deformación, fractura) con ayuda del analizador de textura TA.XT plus Stable Micro Systems del caimito (*chrysophyllum cainito* L) variedad morado considerando las zonas de cultivo de Córdoba y Antioquia. Como resultados de la prueba t-student ($p < 0.05$) demostró que existe diferencia estadísticamente significativa en las zonas de cultivo (Córdoba y Antioquia) en variables como; % humedad (81.5 y 77.044%), % proteína (1.1096 y 1.2441%), % grasa (2.3513 y 1.7361%), % carbohidratos totales (13.58 y 18.57%), energía (79.92 y 94.0 kcal/100), diámetro axial (56.66 y 62 mm) diámetro ecuatorial (60 y 67 mm), peso (124.9067 y 163.3376 g), % rendimiento (80.054 y 85.7309 %) S.S.T (18.8 y 18.1 °Brix), % Índice de madurez (90.4 y 93.8 %), y para cada parámetro de colorimetría

(L*, a*, b*, C* y h*) así mismo en cada una de las variables mecánicas como son fuerza de firmeza máxima (7.5149 y 5.5469 Kgf), fuerza de fractura (10,5846 y 8.9536 Kgf) y deformación (23.6 y 20.55 mm).

Por otro lado los datos arrojados por el software DEPROTER mostraron diferencia estadísticamente significativa en conductividad térmica (0.141533 y 1.13866 W/m °C) y difusividad térmica con valores de $5.1633e-0.7 \text{ m/s}^2$ para caimito cultivado en Córdoba y $5.05 e-0.7 \text{ m/s}^2$ cultivado en Antioquia; y no hubo diferencia estadísticamente significativa en las siguientes variables % de fibra (0.8769 y 0.8383%), % de cenizas (0.5799 y 0.5618%), azúcares reductores (10.2986 y 10.1386%), % de acidez (0.209 y 0.193%), calor específico (1.2866 y 1.29 KJ/Kg °K) y densidad (854.803 y 853.16 m/v) de las dos zonas de cultivo.

Palabras claves: caimito (*chrysophyllum cainito L*), propiedades bromatológicas, fisicoquímicas, termofísicas y mecánicas

2. ABSTRACT

In this work, the physicochemical properties (size, weight, yield, acidity, total soluble solids, pH, colorimetric parameter (L^* , $L^* A^*$, b^* , C^* and h^*) and maturity index) of the caimito pulp. The thermal properties (C_p), density (ρ), thermal conductivity (K) and thermal diffusivity (α) were determined using the DEPROTER software to calculate the thermophysical properties of the caimite. The mechanical properties (firmness, deformation, Fracture) with the aid of the texture analyzer TA.XT plus Stable Micro Systems of the caimito (*Chrysophyllum cainito* L) purple variety considering the cultivated areas of Córdoba and Antioquia. As results of the t-student test ($p < 0.05$) showed that there is a statistically significant difference in the cultivated areas (Córdoba and Antioquia) in variables such as; % Of total carbohydrates (13.58 and 18.57%), energy (79.92 and 94.0 kcal / 100), axial diameter (%) (90.4 and 93.8%), SST (18.8 and 18.1 ° Brix), Equatorial diameter (60 and 67 mm), weight (124.9067 and 163.3376 g), percent yield (80.054 and 85.7309%), And for each colorimetric parameter (L^* , a^* , b^* , C^* and h^*) also in each of the mechanical variables such as maximum strength (7.5149 and 5.5469 Kgf), fracture force (10.5846 and 8.9536 Kgf) and deformation (23.6 and 20.55 mm).

On the other hand, the data presented by the DEPROTER software showed statistically significant difference in thermal conductivity (0.141533 and 1.13866 W / m ° C) and thermal diffusivity with values of 5.1633e-07 m / s² for cultivated caimito in Cordoba and 5.05 e-07 M / s² grown in Antioquia; And there was no statistically significant difference in the following percentages of fiber (0.8769 and 0.8383%), ash% (0.5799 and 0.5618%), reducing sugars (10.2986 and 10.1386%),% acidity (0.209 and 0.193%), (1.2866 and 1.29 KJ / kg ° K) and density (854.803 and 853.16 m / v) of the two growing zones.

Key words: Caimito (*Chrysophyllum cainito* L), bromatological, physicochemical, thermophysical and mechanical properties.

3. INTRODUCCIÓN

El caimito cuyo origen se remonta a las Antillas, es un fruto que presenta crecimiento en climas con alto porcentaje de humedad y altas temperaturas Calzada (1980), y suelos con buen drenaje desde los fértiles y profundos hasta los ligeros y arenosos (Campell, 1974, citado por Anaya y Vega, 1991).

La producción del caimito es bastante baja, solo en países como Perú y Brasil producen y exportan pocas cantidades, sin embargo el cultivo de este fruto en la Florida EE.UU se visiona como un producto comercialmente potencial, generando esto una iniciativa ya que en Colombia este fruto solo se ve de forma silvestre y no existen cultivos establecidos reportados (Arjona 1991).

En Colombia existe una variedad de regiones que presentan condiciones edafoclimáticas adecuadas para el cultivo de esta especie como son la zona de Urabá, la Amazonía, la Costa Pacífica, Córdoba, Sucre, el Magdalena Medio, el Bajo Calima y el Chocó, sin embargo su explotación es muy baja (Arrazola et al. 2004), por el poco conocimiento que se tiene sobre este fruto, además la población prefiere otras especies que son más reconocidas y tienen mayor disponibilidad. El aprovechamiento a nivel industrial y comercial es prácticamente nulo, debido al desconocimiento de métodos y procedimientos para el cultivo y manejo post- cosecha, siendo su uso limitado al consumo humano como fruta fresca y conservas artesanales.

Aunque no existen estadística de producción, en Córdoba en época de cosecha se utiliza para consumo directo y en la elaboración de dulces, ya que no existe información técnico- Científica para darle valor agregado, además se expende solo en mercados locales (Arrazola et al. 2004).

Con este estudio se buscó conocer el análisis bromatológico, fisicoquímico, termofísica, y mecánica del caimito variedad morado (*chrysophyllum cainito L*) cultivado en Córdoba y Antioquia, así mismo determinar si existe diferencia estadísticamente significativa en las características mencionadas entre las dos zonas de cultivo, así poder brindar información científica para darle un mejor aprovechamiento a dicho fruto.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Caimito (*chrysophyllum cainito* L.)

4.1.1 REFERENCIA HISTÓRICA

El árbol puede bien pertenecer a las Antillas. Sin embargo, está más o menos naturalizado en bajas y medias alturas desde el sur de México a Panamá, es especialmente abundante en el lado Pacífico de Guatemala, y con frecuencia cultivada al sur, hasta el norte de Argentina y Perú, Timpe (2011). Fue introducido en Ceilán en 1802, llegó a las Filipinas mucho más tarde, pero se ha vuelto muy común allí como un árbol en carretera y la fruta es apreciada (Morton, 1987).

4.1.2 GENERALIDADES

El caimito (*Chrysophyllum cainito* L.) es un árbol verde de la familia Sapotaceae. Se adapta a climas tropicales y subtropicales, la temperatura óptima para su crecimiento oscila entre 20 y 30° C. En suelos fértiles, el árbol puede llegar a medir 15 m. La fruta es redonda, pero también puede tener forma ovalada y un diámetro de cinco a diez centímetros. Una característica de caimito es que en la superficie se puede observar la presencia de látex, el cual al ser consumido, puede provocar una sensación amarga. Por dentro tiene una pulpa carnosa de color blanco y de sabor dulce León (1987).

Se pueden encontrar dos variedades en cuanto al color de la cascara: morada es más rico en azúcar y verde que presenta más olor (Hernández et al. 2009).

4.1.3 FORMAS DE CONSUMO Y UTILIZACIÓN

El caimito se consume principalmente como fresco, sin embargo, a veces la pulpa se puede conservar en jaleas, se usa como base para obtener muchos productos como preparación de salsas, jugos, y postres Timpe (2011), se puede procesar para hacer conservas, preparar dulces y licuados mezclados con otros frutos Romero (1985). Los granos de semillas se pueden usar para preparar una bebida para imitar la leche de almendras, turrone y otros productos de confitería, las semillas también se usan como almendras para repostería (Morton, 1987).

4.1.4 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

En la Tabla 1 se muestra la descripción taxonómica del caimito (*Chrysophyllum cainito* L).

Tabla 1. Descripción taxonómica del caimito

Taxonomía	
Nombre Científico	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Ericales
Familia	Sapotaceae
Subfamilia	Chrysophylloideae
Género	Chrysophyllum
Especie	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.

Fuente: (Rojas y Torres, 2012)

4.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la Tabla 2 se muestra la composición química de la parte comestible del caimito.

Tabla 2. Composición química la parte comestible del fruto caimito (100g de fruta)

Constituyente	Valor aproximado	Constituyente	Valor aproximado
Humedad	78.4-85.7 %	Caroteno	0.004- 0.039 mg
Calorías (kca)	67.2	Tiamina	0.018- 0.08 mg
Proteína	0.72-2.33g	Riboflavina	0.013-0.04 mg
Carbohidratos	14.65g	Niacina	0.935-1.34 mg
Azúcares totales	8.45-10.39g	Triptófano	4 mg
Fibra	0.55- 3.30 g	Metionina	2 mg
Cenizas	0.35-0.72g	Lisina	22 mg
Calcio	7.4-17.3 mg	Volátiles totales	0.154 mg
Fosforo	15.9-22.0mg	Fenoles totales	217-387.1 mg
Hierro	0.30-0.68mg	Ácido ascórbico	3.0 -15.2 mg

Fuente: (Morton, 1987)

4.1.6 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL CAIMITO

En la Tabla 3 se muestra las características fisicoquímicas encontradas del fruto caimito.

Tabla 3. Características fisicoquímica del fruto caimito

Propiedad	Valor aproximado
pH	5.8
%Acidez	0.14
Sólidos solubles (° Brix)	10.6
Azúcares totales(mg/g)	90.8

Fuente: (Álvarez et al. 2006)

4.1.7 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

El conocimiento de las propiedades fisicoquímicas del fruto es importante para productores, comercializadores y procesadores para programar y planificar las labores

de cosecha, manejo poscosecha, selección de las operaciones unitarias de procesamiento y diseño de empaques (González et al. 2014).

4.1.7.1 Color

El color es la propiedad óptica más importante en los alimentos, junto con la transparencia y la opacidad, que están relacionadas con la cantidad de luz que el material deja pasar a través de él o que se refleja en él. Estas propiedades conforman mayoritariamente el aspecto visual de los alimentos Calvo y Durán (1997). Normalmente se utiliza el sistema CIELAB donde el parámetro L^* indica el grado de luminosidad, o el componente blanco-negro que presenta un alimento. El valor de $L^* = 100$ constituye el máximo para este parámetro, y se traduce en 100 % luminoso, mientras que un valor $L^* = 0$ significa que el alimento es totalmente oscuro. El parámetro a^* indica el componente rojo-verde en la muestra analizada, bajo las condiciones establecidas por el sistema CIELAB, donde el rojo representa los valores positivos y el verde los valores negativos. El parámetro b^* define el componente amarillo-azul presente en una muestra, donde el azul representa los valores negativos y el amarillo los valores positivos según las condiciones establecidas por la carta de color. Asimismo, la saturación (C^*) y el tinte (h^*) se calculan como $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y $\tan^{-1}(b^*/a^*)$, respectivamente (Hernández, 2013).

4.1.7.2 pH

El pH constituye una medida de los protones cedidos al agua por parte de las especies con actividad ácida en la muestra. Viene determinado por la fuerza de los ácidos presentes y su valor depende más del tipo de ácido que de la concentración (Barreiro y Sandoval, 2006).

4.1.7.3 Acidez

La acidez es uno de los principales parámetros de calidad físico-química; en los vegetales es cuantificable debido a la presencia de diversos ácidos orgánicos, principalmente: cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, entre otros, en proporciones variables Hernández (2013). La acidez está asociada con los grupos carboxílicos e hidrogeniones presentes en los frutos (Barreiro y Sandoval, 2006).

4.1.7.4 Sólidos solubles totales (°Brix)

Entre los parámetros químicos que se utilizan para estimar la madurez de los productos de origen vegetal se incluyen las variaciones en el contenido de sólidos solubles totales, expresados en °Brix, corresponden al porcentaje (p/p) de azúcares en una solución (Kader, 2007).

4.1.7.5 Índice de madurez

El índice de madurez se define como la relación o cociente entre el contenido en sólidos solubles totales (°Brix) y la acidez (% de ácido málico) y es un índice característico del grado de madurez, el cual aumenta durante la maduración de los frutos (Barreiro y Sandoval, 2006).

4.1.8 PROPIEDADES TERMOFÍSICAS

El cálculo de las propiedades térmicas tales como (calor específico, conductividad térmica, y difusividad térmica) es de gran importancia para el cálculo y diseño de los procesos, equipos y en la calidad del producto. Las propiedades térmicas de frutas y vegetales son necesarias para calcular la rapidez de calentamiento o enfriamiento en procesos o para estimar las cantidades de calor requeridas en los procesos como: escaldado, pasteurización, evaporación, fritura, refrigeración, congelación,

esterilización, secado entre otra, en los cuales hay intercambio de energía y masa (Alvis et al. 2009).

Para calcular las propiedades termofísicas se utilizan modelos matemáticos como los utilizados por Choi y Okos (1985), como lo muestra la Tabla 4 donde estos modelos depende principalmente de la temperatura con valores que van desde -40 a 150 °C así como la composición proximal del alimento.

Tabla 4. Modelos Choi y Okos (1985)

Calor específico (C_p)	$C_p = \sum (C_{p_i} X_i)$
Conductividad Térmica (K)	$K = \sum (K_i X_i)$
Difusividad Térmica (α)	$\alpha = \frac{k}{\rho * C_p}$
Densidad (δ)	$\delta = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{\delta_i}}$

Fuente: (Alvis et al. 2015)

Donde X_i^w es la fracción peso del componente i, ρ_i es la densidad del componente i puro (proteína, grasa) y X_i^v es la fracción volumen estimada para el componente i.

Propiedades térmicas de los alimentos	
Fración de peso de proteína	1.84
Fración de peso de grasa	7.66
Fración de peso de los carbohidatos	36.49
Fración de peso de la fibra	0.096
Fración de peso de la ceniza	1.07
Fración de peso de la humedad	52.844
Fración de peso del hielo	0
Temperatura	140
Calcular propiedades térmicas:	
Conductividad (proteínas)	0.29295312
Conductividad (grasas)	-0.20922480400000001
Conductividad (carbohidatos)	0.31075448
Conductividad (fibra)	0.29616932
Conductividad (cenizas)	0.46879876
Conductividad (agua)	0.68644944000000001
Conductividad (hielo)	3.334938
Difusividad térmica (proteínas)	0.106617040000000001
Difusividad térmica (grasas)	0.0804299944
Difusividad térmica (carbohidatos)	0.10960752
Difusividad térmica (fibra)	0.103122880000000001
Difusividad térmica (cenizas)	0.15286116
Difusividad térmica (agua)	0.17206468
Difusividad térmica (hielo)	2.1866631999999995
Densidad (proteínas)	1257.324
Densidad (grasas)	867.1302000000001
Densidad (carbohidatos)	1555.6355999999999
Densidad (fibra)	1260.2754
Densidad (cenizas)	2394.5118
Densidad (agua)	923.975106
Densidad (hielo)	898.5906000000001
Calor específico (proteínas)	2.1517131600000003
Calor específico (grasas)	2.09636032
Calor específico (carbohidatos)	1.70712796
Calor específico (fibra)	2.0110263600000002
Calor específico (cenizas)	1.28488268
Calor específico (agua)	4.2707517999999999
Calor específico (hielo)	2.913066
Conductividad térmica	0.4959191663760216
Densidad	1172.19791101864
Difusividad térmica	0.1459999610546907
Calor específico	3.0956201560335996

Fig.1. Programa DEPROTER en operación

4.1.9 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de los materiales son aquellas relacionadas con la deformación y el flujo de éstos cuando son sometidos a la acción de fuerzas. El conocimiento de las propiedades mecánicas de los frutos tiene importantes aplicaciones para el diseño de equipos de cosecha, clasificación y empaque que minimicen los daños durante su comercialización, ya que ese tipo de conocimiento permite calcular el tiempo y la deformación que es capaz de resistir un producto antes de sufrir daños, cuando éste es expuesto a la acción de fuerzas (Mohsenin, 1972).

Las propiedades mecánicas a medir son:

4.1.9.1 Deformación. Es el cambio de tamaño o forma de un cuerpo referido a su tamaño o forma original (adimensional, m/m). (Mohsenin, 1972, citado por Ospina et al. 2007).

4.1.9.2 Fractura. En el caso de las frutas la fractura es considerada como un daño mecánico, ocasionado por una fuerza de acción externa, que puede inducir cambios de sabor y alteración química del color sin romper la superficie del producto (Mohsenin, 1972, citado por Ospina et al. 2007).

4.1.9.3 Firmeza. Se define la firmeza de un material, como la fuerza necesaria para romper los tejidos carnosos y está relacionada con los diferentes estados durante el proceso de maduración, por lo tanto la firmeza de la fruta es considerada como un buen indicativo de la madurez. La firmeza depende del estado de la fruta en el momento de recolección, de la temperatura y forma de almacenamiento y puede relacionarse con el color externo (Valero y Ruiz, 1996, citado por Ospina et al. 2007).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio que se llevó a cabo en esta investigación es de tipo experimental.

5.2 LOCALIZACIÓN

La investigación se llevó a cabo en la Universidad de Córdoba, en el laboratorio “Procesos y Agroindustria de Vegetales “GIPAVE” adscrito al Programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Córdoba, y en el laboratorio de Análisis de Alimentos ubicados en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, Colombia; con una temperatura promedio de 29 °C, humedad relativa 80% y 20 m.s.n.m.; situada geográficamente en las coordenadas 8° 40’ 26’’ de latitud Norte y 75° 46’ 44’’ de latitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich.

5.3 VARIABLES

5.3.1 Variables independientes

Caimito cultivado en Córdoba y caimito cultivado en Antioquia.

5.3.2 Variables dependientes

- Características Bromatológicas (Humedad, Proteínas, grasa, fibra, cenizas, azúcares reductores, carbohidratos totales y energía).

- Características fisicoquímicas: (Diámetro, longitud, peso, rendimiento, acidez, S.S.T, pH e índice de madurez)
- Parámetros colorimétricos (Luminosidad (L^*), Variación entre verde y rojo (a^*), variación entre azul y amarillo (b^*), saturación del color (C^*) y ángulo de tonalidad (h^*).
- Propiedades térmicas (calor específico (C_p), densidad (ρ), conductividad térmica (K) y difusividad térmica (α).
- Propiedades mecánicas (firmeza, deformabilidad, fractura).

5.4 PROCEDIMIENTOS

5.4.1 Recolección del fruto

El fruto fue recolectado manualmente en los departamentos de Córdoba en el corregimiento del retiro de los indios y Antioquia en la vereda Buenos aires que pertenece al municipio de Arboletes teniendo en cuenta disponibilidad de materia prima. Estos fueron colectados en estado de madurez comercial, basándonos en el Indicador de cosecha de los productores, es decir, cuando se tiene más de 95 % de coloración propio en la cáscara del fruto, y que hubiera uniformidad tanto en color como en tamaño. Se tuvo en cuenta que el fruto no presentaba daños mecánicos (grietas, magulladuras) ni manchas, ausencia de daños por insectos, y enfermedades (Anexo 1).

5.4.2 Lavado del fruto

Al fruto se le realizó un lavado con agua corriente para eliminar látex, y se procedió a desinfección con hipoclorito de sodio a 5,25%, durante 1 minuto en inmersión, posteriormente se enjuagó con agua potable y se dejó secar (Anexo 2).

5.4.3 Extracción de la pulpa

La pulpa fue extraída de forma manual, se realizó un corte transversal, se retiró la semilla, y la piel (Zambrano et al. 2013), posteriormente se pesaron cada uno para determinar el rendimiento. La pulpa fue licuada para ser usada en los diferentes análisis (Anexo 2).

5.5 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

En la Tabla 5 se muestra los métodos que se utilizaron para determinar las características bromatológicas del caimito cultivado en Córdoba y Antioquia.

Tabla 5. Métodos y normas utilizadas en la caracterización bromatológica del Caimito (*Chrysophyllum cainito L*)

Determinación	Método	Norma
(%)Humedad	Secado por estufa	(ISO 6496)
(%)Proteínas	Volumétrico , micro Kjeldahl	(AOAC 960,52 y 2001,11)
(%)Grasa	Gravimétrico, extracción con Solvente: Hexano	(AOAC 2003,06)
(%)Fibra	Filtración intermedia	(ISO 6865-NTC 5122)
(%)Cenizas	Secado por Mufla	(AOAC 942,05)
(%)Azúcares reductores	Método de ácido dinitrosalicílico (DNS)	
(%)Carbohidratos totales	Por diferencia	
Energía (Kcal)	Factores de conversión de Atwater	

Los carbohidratos totales se determinaron por la ecuación que se muestra a continuación:

$$(\%)CHOS = 100 - (\%)Hum. - (\%)Pro. - (\%)Gra. - (\%)Fib. - (\%)Cen. \quad 1$$

Las calorías se calcularon utilizando los factores de conversión de Atwater, como se muestra en la ecuación 2:

$$\text{Calorias} \left(\frac{\text{Kcal}}{100\text{g}} \right) = (4 * \%pro.) + (9 * \%gra.) + (4 * \%chos) \quad 2$$

5.6 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

5.6.1 Características físicas

5.6.1.1 Tamaño y peso

Al fruto se le determinó su peso cada uno individualmente en una balanza analítica, el diámetro axial y ecuatorial se midió con pie de rey, esto se realizó por triplicado tanto para el caimito cultivado en Córdoba como el caimito de Antioquia (Anexo 3).

5.6.1.2 Determinación de parámetros de color mediante colorímetro COLORFLEX EZ 45 (HUNTERLAB®).

El colorímetro Colorflex EZ 45 (HunterLab®) una vez calibrado con un plato de cerámica estándar de color verde y blanco, se usó para determinar los parámetros de color, Luminosidad (L*), variación entre verde y rojo (a*), variación entre azul y amarillo (b*), saturación del color (C*) y ángulo de tonalidad (h*) del caimito cultivado en Córdoba y Antioquia (Anexo 4).

5.6.2 Caracterización química

En la Tabla 6 se muestra los métodos utilizados para determinar características químicas del caimito (*Chrysophyllum cainito L.*).

Tabla 6. Métodos y normas utilizadas en la caracterización química del caimito

Determinación	Método	Norma
% Acidez (% Ácido málico)	Titulación	(942.15/90 de la A.O.A.C adaptado)
S.S.T (° Brix)	Refractométrico	(A.O.A.C. (1990) y (NTC 4086, 1996)
pH	Potenciométrico	(A.O.A.C 981.12)
Índice de Madurez	Cociente entre S.S.T y Acidez (Galvis 1992)	

5.6.3 Determinación del rendimiento de la pulpa

Para determinar el rendimiento de la pulpa se tomaron los pesos promedios de los caimitos a utilizar, inicialmente se pesaron completos, y luego que se retiró la semilla, y la piel. Seguidamente se usó la siguiente ecuación para hallar el rendimiento.

$$Rendimiento = \frac{P_{final}}{P_{inicial}} * 100 \quad 3$$

5.7 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TERMOFÍSICAS

Las características termofísicas: difusividad y conductividad térmica, el calor específico y la densidad del caimito se establecieron promediando resultados del análisis proximal, haciendo uso del software DEPROTER (Alvis et al. 2011).

5.8 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Para la prueba de penetración, se empleó un vástago cilíndrico inoxidable de 2 mm de diámetro, acoplado al analizador de textura TA.XT plus Stable Micro Systems, para calcular el esfuerzo máximo de penetración; los ensayos se realizaron en el fruto entero con cascara, aplicando la fuerza de penetración en la parte central. Para la prueba de compresión uniaxial, se realizó en el fruto entero con cáscara, estimando el esfuerzo y

deformación de fractura. Se realizó una compresión uniaxial hasta la fractura de la muestra (Anexo 5).

Estas pruebas se realizaron por triplicado para los caimitos provenientes de Antioquia y Córdoba con una velocidad de deformación de 5 cm/min a temperatura ambiente (Alvis et al. 2015).

5.9 DISEÑO EXPERIMENTAL

En esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones para cada variable medida, se realizó una prueba de T- student con un nivel de confianza del 95% usando el software “STATGRAPHICS Centurión XV” para determinar si existen o no diferencias estadísticamente significativas en las características bromatológicas, fisicoquímicas, termofísicas, colorimétricas, y mecánicas, para el caimito cultivado en los departamentos de Córdoba y Antioquia.

6.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DEL CAIMITO (*Chrysophyllum cainito L*) CULTIVADO EN CÓRDOBA Y ANTIOQUIA

En la Tabla 7 se resumen los resultados de los análisis bromatológicos obtenidos del Caimito cultivado en Córdoba y Antioquia.

Tabla 7. Caracterización bromatológica del caimito cultivado en Antioquia y Córdoba

ZONA DE CULTIVO			
	Córdoba	Antioquia	t-Stu.
(%) Humedad	81.5 ±0.2731 ^a	77.044 ±0.3398 ^b	SIGN.
(%) Proteínas	1.1096 ±0,0714 ^a	1.2441±0.04121 ^b	SIGN.
(%) Grasa	2.3513 ±0.0156 ^a	1.7361 ±0.03401 ^b	SIGN.
(%) Fibra	0.8769 ± 0.0068 ^a	0.8383 ±0.0286 ^a	N.S
(%) Cenizas	0.5799 ±0.02908 ^a	0.5618 ±0.0074 ^a	N.S.
(%) Azúcares reductores	10.2986 ±0.5248 ^a	10.1386±0.4286 ^a	N.S
(%) Carbohidratos totales	13.587 ±0.1745 ^a	18.57±0.2589 ^b	SIGN.
Energía (kcal/100g)	79.92 ^a	94.0 ^b	SIGN.

Valores con la misma letra en una fila no difieren estadísticamente (P<0,05 t-Stu)

6.1.1 Análisis de Humedad

El contenido de humedad del fruto caimito presentó un valor promedio de $81.5 \pm 0.2731\%$ cultivado en Córdoba con un coeficiente de variación de 0.02570% y el cultivado en Antioquia obtuvo un valor promedio de $77.044 \pm 0.3398\%$ con coeficiente de variación de 0.01044% , encontrándose diferencia estadísticamente significativa entre las dos zonas de cultivo, de acuerdo a la prueba t-student con ($p > 0,05$). Estos valores son muy similares al rango encontrado por Morton (1987) de 78.5- 85.7%, sin embargo el valor encontrado en Córdoba es muy cercano al de la tabla de composición de alimentos colombianos (2015), el cual es de 84.5%.

6.1.2 Análisis de Proteínas

El contenido de proteína encontrado en caimito cultivado en Córdoba es $1.1096 \pm 0.0714\%$ y $1.2441 \pm 0.04121\%$ del caimito cultivado en Antioquia con un coeficiente de variación de 0.11153% en Córdoba y 0.05748% en Antioquia respectivamente, encontrándose diferencia significativa entre las dos zonas de cultivo, de acuerdo a la prueba t-student con ($p > 0,05$) como se muestra en la Tabla 7. La tabla de composición de alimentos (2015), reporta un porcentaje de proteína del 1% el cual es muy cercano a los encontrados, e inferiores al reportado por Hernández et al. (2009) el cual es de 2.151%.

6.1.3 Análisis de Grasa

Los porcentajes de grasa encontrados en la pulpa del caimito fueron $2.3513 \pm 0.0156\%$ aproximadamente cultivado en Córdoba y $1.7361 \pm 0.03401\%$ en Antioquia, con coeficiente de variación de 0.01152% y 0.08821% respectivamente encontrándose diferencia estadística significativa entre las dos zonas de cultivo, de acuerdo a la prueba t-student con ($p > 0,05$), de acuerdo a la tabla de composición de alimentos

colombianos (2015) el caimito posee un porcentaje de grasa de 1.4%, valor que es inferior al encontrado en este trabajo.

6.1.4 Análisis de fibra

Los resultados de fibra de la pulpa del caimito fueron de $0.8769 \pm 0.0068\%$ cultivado en Córdoba y $0.8383 \pm 0.0286\%$ cultivado en Antioquia con coeficiente de variación 0.01348802% en Córdoba y 0.05909887% en Antioquia, sin existir diferencia estadísticamente significativa entre las zonas de cultivo, según la prueba t-student con ($p < 0,05$). Estos valores son menores al encontrado por Hernández et al. (2009), quien reportó un porcentaje de fibra de 3.856%.

6.1.5 Análisis de Cenizas

Los valores de cenizas de la pulpa del caimito fueron de $0.5799 \pm 0.02908\%$ y $0.5618 \pm 0.0074\%$ respectivamente, con coeficiente de variación de $0,02304273\%$ cultivado en Córdoba y 0.08685876% cultivado en Antioquia, encontrándose que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las dos zonas de cultivo según la prueba de t-student con ($p < 0,05$), estos valores son superiores al que se encuentra en la tabla de composición de alimentos colombianos (2015) de 0.20%.

6.1.6 Análisis de azúcares reductores

Los azúcares reductores obtenidos fueron de $10.2986 \pm 0.5248\%$ y $10.1386 \pm 0.4286\%$ con coeficiente de variación de 0.088269639% y 0.195799531% sin presentar diferencia estadísticamente significativa entre las dos zonas de cultivo mediante la prueba de t-student con ($p < 0,05$) estos valores son superiores a los encontrados por Zambrano et al. 2013 el cual es de 3.6% de azúcares reductores en caimito de la misma variedad.

6.1.7 Análisis de carbohidratos totales

Se encontró diferencia estadísticamente significativa en la pulpa de caimito cultivado en Córdoba y Antioquia mediante la prueba de t-student con ($p > 0,05$), dando como resultado de $13.587 \pm 0.1745\%$ y $18.57 \pm 0.2589\%$ con coeficiente de variación de 0.15559498 y 0.04295122 respectivamente. Según la tabla de composición de alimentos colombianos (2015) el caimito posee 12.90% de carbohidratos totales, muy cercano al encontrado en caimito cultivado en Córdoba.

6.1.8 Análisis de Calorías de la pulpa del caimito

El aporte calórico promedio de 79.92 Kcal /100g de la pulpa del caimito cultivado en Córdoba y 94.0 Kcal /100g de la pulpa del caimito cultivado en Antioquia, encontrándose diferencia estadísticamente significativa entre las dos zonas de cultivo, estos valores son superiores a los que reporta la tabla de composición de alimentos colombianos (2015) el caimito tiene un aporte calórico de 68 kcal/100g al igual que el que encontró Morton (1987) de 67.2 kcal/100g.

6.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CAIMITO (*Chrysophyllum cainito* L) CULTIVADO EN CÓRDOBA Y ANTIOQUIA

En la Tabla 8 se muestran los resultados resumidos de los análisis físicoquímicos y los valores medios obtenidos.

Tabla 8. Caracterización fisicoquímica del fruto caimito variedad morado

Parámetro	ZONA DE CULTIVO		
	Córdoba	Antioquia	t-Stu
Diámetro axial (mm)	56.66 ± 0.471 ^a	62 ± 0.816 ^b	SIGN
Diámetro ecuatorial (mm)	60± 0.816 ^a	67± 1.414 ^b	SIGN
Peso (g)	124.9067± 4.239 ^a	163.3376± 2.586 ^b	SIGN
Rendimiento	80.0545 ± 1.739 ^a	85.7309 ± 1.220 ^b	SIGN
pH	5.7025 ± 0.028 ^a	5.7175 ± 0.041 ^a	N.S
%Acidez (ácido málico)	0.209 ± 0.004 ^a	0.193± 0.011 ^a	N.S
% SST (°Brix)	18.8 ± 0.081 ^a	18.1± 0.092 ^b	SIGN
Índice de madurez	90.4 ± 2.271 ^a	93.8 ± 1.672 ^b	SIGN

Valores con la misma letra en una fila no difieren estadísticamente (P<0,05 t-Stu)

6.2.1 Análisis del tamaño, peso y rendimiento

Los frutos de Caimito morado presentaron un diámetro axial con valores promedios de 56.6±0.333 y 62±0.577 mm con coeficiente de variación de 0.0083 y 7.074E-05 para los cultivados en Córdoba y Antioquia respectivamente observándose diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student realizada con (p>0,05) además para el diámetro ecuatorial se observó de igual forma diferencia estadísticamente significativa mediante la misma prueba con valores para los caimitos cultivados en Córdoba y Antioquia de 60±0.577 y 67±0.577 mm con coeficiente de variación de 0.0136 y 6.062E-05 respectivamente. Estos valores están por encima a los reportados por Arizaleta et al. (2014) con medias para diámetro axial de 53.18 y 52.59 para el ecuatorial.

El promedio de los pesos de los caimitos morados de Córdoba fue de 124.9±0.931 g con coeficiente de variación de 0.0105 y para los caimitos morados de Antioquia fue de 163.3±0.788 g con un coeficiente de variación de 1.392E-05 presentando diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student con (p>0,05) estos valores

están por encima de los reportados por Arizaleta et al. (2014) con valores promedios de 82.74 g para la misma variedad. Para el rendimiento presentaron valores de 80.05 y 85.73 para Córdoba y Antioquia lo cual indica diferencia estadísticamente significativa mediante la misma prueba.

6.2.2 Análisis del pH

En la medición de pH los resultados promedio no mostraron diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student ($p < 0,05$) entre la variedad de caimito morado proveniente de Córdoba y Antioquia con valores de 5.70 y 5.71 con un coeficiente de variación de 0.0052 y 0.0091% respectivamente (Tabla 8), estos datos son similares a los reportados por Arizaleta et al. (2014) donde obtuvieron resultados de 5.97 para caimitos de variedad morado en Tarabana Venezuela; Álvarez et al. (2006) reportaron valores de 5.8 para la misma variedad.

6.2.3 Análisis del % de acidez

En cuanto al porcentaje de acidez expresado en ácido málico los valores promedio obtenidos en caimitos de variedad morada provenientes de Córdoba y Antioquia fueron de 0.22 ± 0.004 % y 0.193 ± 0.011 % evidenciando que no existe diferencia estadísticamente significativa en las comparaciones mediante la prueba t-student ($p < 0,05$), esto es similar a los valores obtenidos por Zambrano et al. (2013) con valores medios de 0.19 %.

6.2.4 Análisis de sólidos solubles totales

Para los grados Brix se puede observar en la Tabla 8 que existe diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-studen ($p > 0,05$) entre los datos obtenidos de los caimitos de Córdoba y Antioquia con valores de 18.8 ± 0.081 y 18.1 ± 0.092 con coeficiente de variación de 0.0075 y 0.0088 respectivamente esto

puede deberse a los diferentes factores que afectan la concentración de los mismos, como lo son la madurez o etapa de crecimiento, el agua y el manejo de la fertilización (Kleinhenz y Bumgarner. 2015) debido a que los caimitos provienen de diferentes zonas. Estos valores están muy por encima de los valores obtenidos por Álvarez et al. (2006) y Zambrano et al. (2013) con valores de 10.6 y 6.28 respectivamente, mientras que valores cercanos se reportaron en zapote mamey con estados de madurez de consumo que van de 17.5 a 23.0 °Brix (Villarreal et al. 2015).

6.2.5 Análisis del Índice de madurez

Para el Índice de Madurez se obtuvieron valores de 90.4 y 93.8 para Córdoba y Antioquia respectivamente, observando diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student ($p > 0,05$). Zambrano et al. (2013) reporta valores de 31.74% siendo inferior al encontrado en este estudio. Esta variación se puede deber a que el índice de madurez es un parámetro indirecto que depende de los grados Brix y el porcentaje de acidez.

6.3 CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DEL CAIMITO (*Chrysophyllum cainito L*)

En la Tabla 9 se muestra el valor medio de los parámetros de color obtenidos del caimito.

Tabla 9. Parámetros de color de la pulpa del caimito en las dos zonas de cultivo

Parámetro	ZONA DE CULTIVO		t-Stu
	Córdoba	Antioquia	
L*	34.36 ± 0.036 ^b	11.886 ± 0.038 ^a	SIGN.
a*	12.386 ± 0.017 ^a	7.0533 ± 0.0533 ^b	SIGN.
b*	-5.286 ± 0.120 ^a	-3.886 ± 0.017 ^b	SIGN.
h*	336.71 ± 0.167 ^a	331.19 ± 0.046 ^b	SIGN.
C*	13.48 ± 0.015 ^a	8.053 ± 0.053 ^b	SIGN.

Valores con la misma letra en una fila no difieren estadísticamente ($P < 0,05$ t-Stu)

Existe diferencia estadísticamente significativa entre los parámetros de luminosidad (L^*) para el caimito cultivado en Córdoba y Antioquia, encontrándose un valor promedio de 34.36 y 11.88 con coeficiente de variación de 0.0018% y 0.0056% respectivamente. El valor obtenido en Córdoba es muy similar al encontrado por Tejacal et al. (2004) el cual es de ($L: 30$) valor muy cercano al negro, sin embargo el valor del caimito cultivado en Antioquia fue mucho más cercano de cero lo cual indica que es más oscuro y menos brillante que el caimito cultivado en Córdoba.

El valor promedio del parámetro a^* (verde-rojo) es de 12.38 y 7.053 con coeficiente de variación de 0.0024% y 0.053 del caimito cultivado en Córdoba y Antioquia existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las dos zonas de cultivo según la prueba t-student ($p>0,05$). El valor obtenido en Córdoba es análogo al reportado por Tejacal et al. (2004) en un rango de 10-12, lo cual indica que el caimito de Córdoba presenta un color rojo purpura opaco, siendo el de Antioquia de un color rojo purpura más intenso.

El parámetro b^* eje azul- amarillo fueron negativos para las dos zonas de cultivo lo que indica que está más cercano al azul, encontrándose diferencia estadísticamente significativa según la prueba t-student ($p>0,05$) entre las dos zonas de cultivo.

El parámetro saturación C^* fue de 13.48 para el caimito cultivado en Córdoba con coeficiente de variación de 0.0019% el cual es superior al encontrado por Alves et al. (2006) de 8.6, sin embargo es muy similar al encontrado en Antioquia el cual es de 8.05 con coeficiente de variación de 0.011%, esto nos indica que predomina el color rojo, siendo mayor la saturación en Córdoba. Según Carvajal et al. (2011) la coordenada cromática C^* no permite diferenciar color entre estados inmaduros, debido

a que en el círculo cromático los diferentes colores pueden llegar a tener el mismo valor de saturación C*.

El ángulo de tonalidad H* el cual se mantiene entre 0 y 360° (0°=rojo, 90°= amarillo, 180°=verde, 270°= azul) los valores obtenidos oscilaron entre 336,76 y 331, 19 para caimito cultivado en Córdoba y Antioquia lo cual indica que en ambas regiones predominó la tonalidad azul, no obstante se puede observar que existe diferencia estadísticamente significativa entre las dos zonas de cultivo, estos valores son muy similares al que encontró Julián (2009) en fruto *Annona Diversifica* variedad rosa mexicano con un valor de 358.53.

6. 4 CARACTERIZACIÓN TERMOFÍSICA DEL CAIMITO (*Chrysophyllum cainito L*)

En la Tabla 10 se muestran los resultados promedios obtenidos para la determinación de las propiedades termofísicas del caimito variedad morado de los departamentos de Córdoba y Antioquia mediante la herramienta DEPROTER (Alvis et al. 2014).

Tabla 10. Parámetros termofísicos de la pulpa del caimito en las dos zonas de cultivo

PROPIEDADES TERMOFÍSICAS			
Parámetro	Córdoba	Antioquia	t-Su
Calor específico (Cp) (kJ/kg°C)	1.2866± 0.00471 ^a	1.29 ± 0.0 ^a	N.S
Conductividad Térmica (K) (W/m°C)	0.1415± 0.00105 ^a	0.1386± 0.00047 ^b	SIGN.
Difusividad Térmica (α) (m²/s)	5.163E-07±3.39 E-09 ^a	5.05E-07±1.24E-09 ^b	SIGN.
Densidad (δ) (kg/m³)	854.803 ± 2.359 ^a	853.16± 0.049 ^a	N.S

Valores con la misma letra en una fila no difieren estadísticamente (P<0,05 t-Stu)

Se pudo determinar que los valores obtenidos de calor específico y densidad no presentan diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student ($p < 0,05$) para el caimito proveniente de Córdoba y Antioquia, los valores obtenidos fueron de 1.28 kJ/kg°C y 854.80 kg/m³ para Córdoba y 1.29 kJ/kg°C y 853.16 kg/m³ para Antioquia respectivamente, valores diferentes fueron reportados por Arrazola et al. 2014 para la Acerola fresca en cuanto al calor específico y densidad con valores de 3.9685 kJ/kg°C y 1086.6077 kg/m³ respectivamente; así mismo se reportaron valores para la almendra fresca de 2.65 kJ/kg°C y 1138.6 kg/m³ (Arrazola et al. 2013) estos valores están muy por encima a los reportados en este trabajo. Para la densidad valores similares fueron encontrados en lulo para diferentes grados de madurez con valores de 0.92 g/cm³ (González et al. 2014).

Para la conductividad térmica y la difusividad térmica se obtuvieron valores de 0.14 W/m°C y 5.16E-07 m²/s para caimitos de Córdoba y 0.13 W/m°C y 5.05E-07 m²/s para caimitos de Antioquia respectivamente, estos valores muestran diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student ($p > 0,05$), valores diferentes fueron reportados por Arrazola et al. (2014) para la acerola fresca con una conductividad térmica y difusividad térmica de 0.5979 W/m°C y 1.4696x10-7 m²/s así mismo se puede observar que para el almendro fresco también existe diferencia con valores por encima a los encontrados en este estudio de 0.32 W/m°C y 1.13x10-7 m²/s.

6.5 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL CAIMITO (*Chrysophyllum cainito* L)

En la Tabla 11 se muestran los análisis de textura realizados al fruto del caimito

Tabla 11. Propiedades mecánicas del caimito cultivado en Córdoba y Antioquia

	Córdoba	Antioquia	t-Stu
Fuerza de Firmeza Máxima (kgf)	7.5149± 0.1004 ^a	5.5469±0.1841 ^b	SIGN.
Fuerza de Fractura (kgf)	10.5846± 0.0978 ^a	8.9536±0.0513 ^b	SIGN.
Deformación (mm)	23.6± 0.5686 ^a	20.55±0.4092 ^b	SIGN.

Valores con diferente letra en una fila difieren estadísticamente (P<0,05 t-Stu)

Para la fuerza de firmeza máxima se puede observar que existe diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student con (p>0,05) para los valores de Córdoba y Antioquia de 7.5149 kgf y 5.546 kgf respectivamente, valores similares fueron reportados por Alia et al. (2004) en caimitos almacenados a diferentes temperaturas y en varios días de almacenamiento que van desde los 4.5 a 8.1 kgf donde la temperatura no afecta este factor, cabe destacar que valores similares también fueron encontrados en tomate de árbol, donde la firmeza en el punto medio estaba en 4.08 kgf (Márquez et al. 2007).

En cuanto a la fuerza máxima de fractura se puede decir que los frutos más resistentes son los de Córdoba, esto se ve reflejado en los resultados que fueron de 10.5846± 0.0978 y 8.9536±0.0513 kgf para caimitos de Córdoba y Antioquia respectivamente, presentándose diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student con (p>0,05) lo cual es superior a valores encontrados en otras frutas frescas como guayaba (Yam et al. 2009), lulo (Ospina et al. 2007), uchuva (Ciro et al. 2007) y chicozapote (López et al. 2011). Valores por encima a los encontrados en caimito se reportaron en banano con 12.38 kgf (Ciro et al. 2005).

La deformación de 23.6 y 20.5 mm representa el 39.3 y 30.6 % del total del fruto para caimitos de Córdoba y Antioquia respectivamente presentándose diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t-student ($p>0,05$), estos valores indican que los caimitos de Córdoba permiten una mayor deformación lo cual concuerda con los valores de resistencia obtenidos, de igual forma se encontraron valores similares en mango (Pérez et al. 2009), guayaba (Yam et al. 2009) y chicozapote (López et al. 2011) con valores de 37.15, 40.64 y 44.95 % respectivamente.

7. CONCLUSIONES

Existe variaciones significativas entre la especie de caimito (*Chrysophyllum cainito L*) cultivado en Córdoba y Antioquia en términos de % de humedad, % de proteína, % de grasa, carbohidratos totales y energía que aporta al ser consumido, siendo mayor para el caimito cultivado en Antioquia. No obstante no se encontraron diferencia estadísticamente significativa en valores de % de fibra, % de cenizas, % de azúcares reductores.

El peso de los caimitos de Antioquia presentaron valores superiores a los de Córdoba siendo estos 163.3 g y 124.9 g con diferencia estadísticamente significativa entre los mismos, de igual forma para los diámetros ecuatorial y axial, así como para el rendimiento los valores de Antioquia fueron superiores lo que indica que son caimitos de mayor tamaño.

El pH y porcentaje de acidez no presentaron diferencias estadísticamente significativas, los valores fueron similares para los frutos de caimito provenientes de Córdoba y Antioquia, mientras que para el porcentaje de Sólidos Solubles Totales el mayor valor se obtuvo en los caimitos de Córdoba; en el índice de madurez los valores obtenidos presentaron diferencias estadísticamente significativas siendo estos mayores en Antioquia que en Córdoba.

Con respecto al color existe diferencia estadísticamente significativa en las dos zonas de cultivo siendo los valores descendentes para el cultivado en Antioquia lo cual indica que la pulpa del caimito cultivado en Córdoba es de un color más opaco. Cabe anotar que la determinación de estos parámetros es información técnica de mucho interés para la agroingeniería, ya que permite desarrollar sistemas de inspección y clasificación automática de frutos basados en el color, el tamaño, la forma y la textura del producto.

Los valores de conductividad y difusividad térmica presentaron diferencia estadísticamente significativa con valores superiores en los caimitos de Córdoba mientras que para los caimitos de Antioquia los valores fueron inferiores; para la calor específico y densidad los caimitos provenientes de Córdoba y Antioquia no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

La fuerza de firmeza máxima, fuerza de fractura y deformación presentaron diferencia estadísticamente significativamente para los caimitos de Antioquia y Córdoba respectivamente presentando los caimitos de Córdoba mayor resistencia a las fuerzas aplicadas, que los de Antioquia.

8. RECOMENDACIONES

- Evaluar las propiedades mecánicas, fisicoquímicas, y bromatológicas en diferentes estados de maduración del caimito para determinar es estado óptimo de consumo y procesamiento de la fruta.
- Realizar estudios de productos terminados donde el caimito sea la materia prima para determinar el comportamiento de sus propiedades bromatológicas, fisicoquímicas y de vida útil.
- Identificar la presencia de pigmentos como antocianinas en la corteza del fruto del caimito ya que podría ser fuente importante de estos.
- Evaluar la actividad antioxidante del caimito cultivado en Córdoba y Antioquia con la finalidad de identificar como influye las condiciones climáticas en estos compuestos, y lograr incluir en la dieta diario de los consumidores.
- Efectuar estudios de mercado de este tipo de frutos con el fin de promover el consumo nacional y la producción de derivado.

9. BIBLIOGRAFÍA

- **Alia, I., Colinas, M., Velásquez, C., López, V., Acosta, C., Guillen, D., Hernández, J. 2004.** almacenamiento de frutos de caimito (*Crisophyllum cainito L.*) a bajas temperaturas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos Investigación Agropecuaria. Vol. 2. p. 7-13.
- **Álvarez, J., Alía, V., López, C., Acosta, M., Andrade, M., Colinas, M., Delgado, I. y Villegas, O. 2006.** Caracterización de frutos de caimito (*Chrysophyllum cainito L.*), en el estado de Morelos. Revista Chapingo Serie Horticultura 12 (2): 217-221.
- **Alvis, A., Caicedo I y Peña P. 2012.** Determinación de Propiedades Termofísicas de Alimentos en función de la concentración y la temperatura empleando un Programa Computacional, Universidad de Córdoba-Colombia. Información Tecnológica Vol. 23(1), 111-116
- **Alvis, A., Jiménez, J. y Arrazola, G. 2015.** Caracterización de las propiedades mecánicas de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas Lam*). Información tecnológica.Vol. 26(4), 75-80.

- **Alvis, A., Lafont, J. y Páez, M. 2009.** Propiedades Mecánicas y Viscoelásticas del Ñame (*Dioscorea alata*), Departamento de Ingeniería de alimentos, Facultad de ciencias básicas e ingeniería, Universidad de Córdoba. Berástegui, Colombia. Información Tecnológica-Vol. 20 N°5.
- **Anaya, F. y Vega, A. 1991.** Propagación sexual del caimito (*Crysophyllum cainito*) en el estado de Morelos, México. Revista Chapingo 15: 73-74.
- **Arizaleta, M., Bolivar, A., Pérez, M., Díaz, L. y Pérez, J. 2014.** Características físico-químicas y proporción de los componentes de la biomasa del fruto del caimito, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Tarabana. Rev. Fac. Agron. (LUZ). Supl. 1: 12-22.
- **Arjona H. 1991.** Producción de frutas tropicales en el estado de la Elorida, Estados Unidos de América. Agronomía Colombiana, Volumen 8, Número 2: 283-285.
- **Arrázola G., Alvis A. y Páez M. 2014.** Composición, Análisis Termofísico y Análisis Sensorial de Frutos Colombianos. Parte 1: Almendro (*Terminalia Catappa L.*) Universidad de Córdoba-Colombia. Información Tecnológica, Vol. 25(3), 17-22.
- **Arrázola G., Alvis A. y Páez M. 2014.** Composición, Análisis Termofísico y Sensorial de Frutos Colombianos. Parte 2: Acerola (*Malpighia emarginata L.*), Universidad de Córdoba-Colombia. Información Tecnológica, Vol. 25(3), 23-30
- **Arrázola, G. y Villalba M. 2004.** Frutas, Hortalizas y Tubérculos, Perspectivas de Agroindustrialización. primera edición universidad de Córdoba. P 78-79.
- **Barreiro, J. y Sandoval, A. 2006.** Operaciones de conservación de Alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio, Valle de Sartenejas, Baruta, Venezuela, P 50.

- **Calvo, C. y Durán, L. 1997.** Propiedades físicas II. Ópticas y color. En: Aguilera, J. (Ed.), Temas en Tecnología de Alimentos. Acribia, México, D.F., México, p. 261-288.
- **Calzada, J. 1980.** Frutales nativos. Universidad Nacional Agraria “La Molina” Lima, Perú, P 319.
- **Campell, C. 1974.** Research on the caimito (*Chrysophyllum cainito L.*) in Florida, proceeding of the tropical región of the American society for horticultural science 18, 123-127.
- **Carvajal, J., Aristizábal, I., Oliveros, C., Mejía. 2011.** Colorimetría del fruto café (*Coffea arabica L.*), durante su desarrollo y maduración. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. Vol.64, N°6229.
- **Choi, Y. y Okos, M. 1985.** Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. Food Engineering and Process Applications 1: 93-101.
- **Ciro H., Buitrago O., y Pérez S. 2007.** Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana L.*). Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.60, No.1.p.3785-3796.
- **Ciro H., Montoya M., Millán L. 2005.** Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.58, No.2976 2.p.2975-2988.
- **Galvis, A. 1992.** Tecnología de manejo postcosecha de frutas y hortalizas: Sección de Vegetales. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

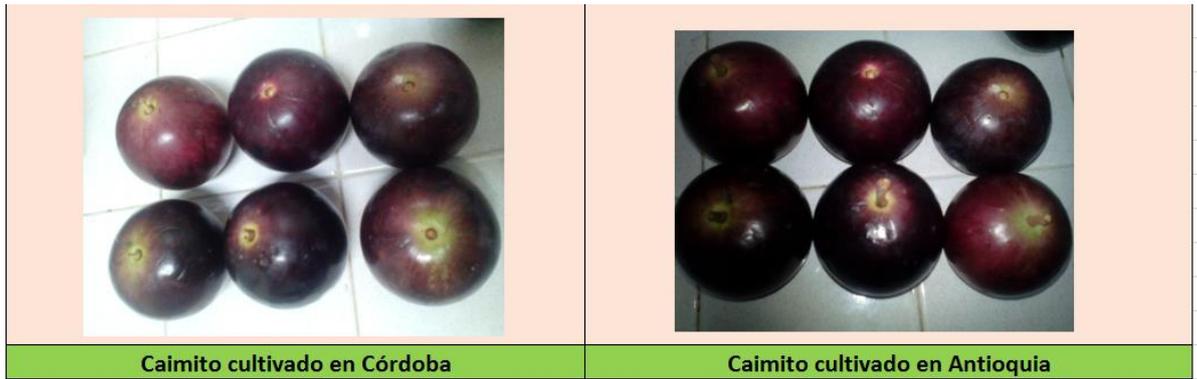
- **González, D., Ordóñez, L., Vanegas, P. y Vásquez, H. 2014.** Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronómica*. 63 (1), p 11-17.
- **Hernández J. 2013.** Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (*Lycopersicon esculentum* var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente, Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, Argentina.
- **Hernández, L., Hernández, A., Elorza, P., López, M., López, M. 2009.** Caracterización de frutos de caimito (*Chrysophyllum cainito* L.) en el estado de Veracruz, México. *Revista 70 UDO Agrícola* 9 (1): 70-73.
- **Instituto Colombiano de bienestar familiar (ICBF) 2015.** Tabla de composición de alimentos Colombianos. Universidad Nacional de Colombia.
- **Julián, A. 2009.** Propiedades físicas y químicas de tres variedades del fruto de *Annona Diversifolia*. Tesis para obtener título de ingeniería de alimentos, Universidad Tecnológica de la mixteca.
- **Kader, A. 2007.** Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Universidad de California, Davis, California, Estados Unidos.
- **Kleinhenz M. y Bumgarner N. 2015.** Using Brix as an Indicator of Vegetable Quality: An Overview of the Practice; Linking Measured Values to Crop Management, The Ohio State University, En <http://www.hortalizas.com/cultivos/que-afecta-a-los-valores-brix/> 05-10-2016 02:47 pm.
- **León, J. 1987.** Botánica de los cultivos tropicales; 2 ed. Costa Rica. Servicio Editorial IICA. P 445.

- **López V., Villaseñor C. y Pérez A. 2011.** Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20, No. 3
- **Márquez C., Otero C., Cortés M. 2007.** Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* s.) en poscosecha, Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.60, No.3786 1.p.3895-3796.
- **Mohsenin, N. 1972.** Mechanical properties of fruits and vegetables. Review of a decade of research applications and future needs. Transaction of the ASAE 10: 1064-1070.
- **Morton, J. 1987.** ‘Star Apple’, in Morton J, Fruits of Warm Climates, Miami, FL, P 408 – 410.
- **Ospina, D., Ciro, H., Aristizábal, I. 2007.** Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.60, No.2. P 4163-4178.
- **Pérez A., Villaseñor C., Crisanto V. y Corrales J. 2009.** Propiedades mecánicas y maduración de frutos de mango (*Mangifera indica* l.) bajo compresión axial, Ingeniería Agrícola y Biosistemas 1(1): 19-23.
- **Rojas, F. y Torres, G. 2012.** EL caimito Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) Volumen.9, n°23, Julio, 2012 ISSN: 2215-2504.
- **Romero, R. 1985.** Frutas silvestres del Chocó. Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. Bogotá, Colombia. P 77-79.
- **Timpe, M. 2011.** El estudio investigativo de la fruta del caimito y su diversa aplicación a la gastronomía. Tesis de maestría previa a la obtención del título de administrador gastronómico. Universidad tecnológica Equinoccial. facultad: posgrados.

- **Valero, U. y Ruiz A. 1996.** Técnicas de medida de la calidad de frutas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Rural.
- **Villarreal J., Alia I., Hernández E., Pelayo C., Franco O. 2015.** Caracterización poscosecha de selecciones de zapote mamey (*pouteria sapota* (jacq.)h. e. moore & stearn) procedentes del Soconusco, Chiapas. Rev. Ecosistemas y Recursos agropecuarios, 2(5):217-224.
- **Yam J., Villaseñor C., Romantchik E., Soto M. y Peña M. 2009.** Análisis de frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) Bajo compresión y su relación con los procesos fisiológicos, Ingeniería Agrícola y Biosistemas 1(1): 63-70.
- **Zambrano, J., Montilla, N., Riveros, R., Quintero. I., Maffei, M., Valera, A., Materano, W. 2013.** Caracterización de frutos de caimito (*chrysophyllum cañito* L) variedades verde y morado e influencia de la época de cosecha en la calidad de los frutos, Revista ACADEMIA - Trujillo - Venezuela - ISSN 1690-3226- Julio-Septiembre. Volumen 12 (27).

ANEXOS

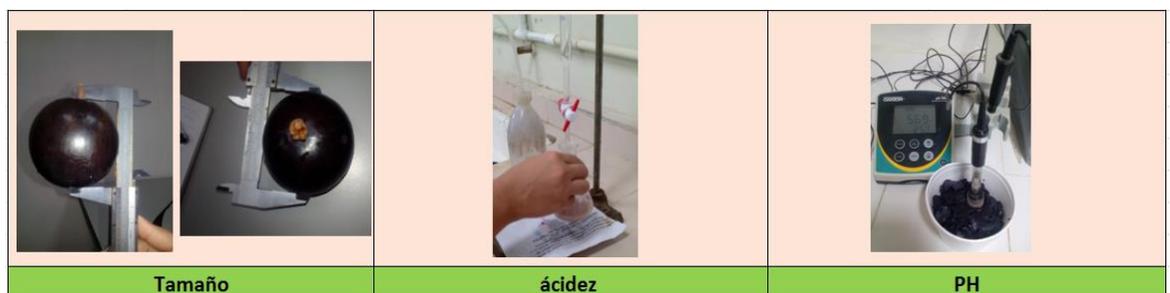
Anexo 1. Identificación de caimito de Córdoba y Antioquia



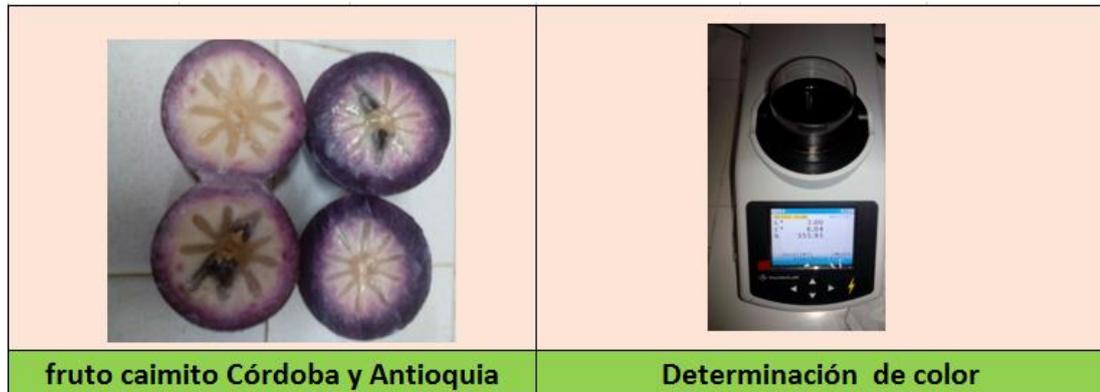
Anexo 2. Lavado del fruto y extracción de la pulpa del caimito



Anexo 3. Determinación de propiedades fisicoquímicas



Anexo 4. Determinación de parámetros CIELAB mediante colorímetro Colorflex EZ 45 (HunterLab®)



Anexo 5. Determinación de propiedades mecánicas del caimito

