

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL FRUTO DE 50 MEDIOS
HERMANOS DE LULO *Solanum quitoense* Lam EN EL DEPARTAMENTO DE
NARIÑO**

RENE CAMILO AREVALO MARTINEZ I.AI.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO
2018**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL FRUTO DE 50 MEDIOS
HERMANOS DE LULO *Solanum quitoense* Lam EN EL DEPARTAMENTO DE
NARIÑO**

RENE CAMILO AREVALO MARTINEZ I.AI.

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Magister en Ciencias Agrarias con Énfasis en Producción de Cultivos**

Asesor:

M.Sc. DIEGO FERNANDO MEJÍA ESPAÑA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO**

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de este autores”

Artículo 1º de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

NOTA DE ACEPTACIÓN

Carlos Benavides. I.A. M.Sc.

Jurado Delegado

Vladimir Vallejo. I. AI. M.Sc.

Jurado

Oswaldo Osorio. I. AI. Ph.D.

Jurado

Diego Mejía-España. IAI. M.Sc.

Presidente

San Juan de Pasto, Noviembre de 2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia:

A mis padres Carmen Alicia Martínez y Héctor Rene Arévalo, quienes con su cariño y apoyo incondicional han guiado mi camino.

A mis hermanos Esteban Arévalo Martínez y Mario Arévalo Martínez, por compartir momentos significativos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda colaboraron en la realización del presente trabajo, en especial al I. AI M.Sc. Diego Fernando Mejía España, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este tiempo.

Al Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos y a su director doctor Tulio Cesar Lagos Burbano Ph.D, por todo el interés, apoyo y estímulo hacia este trabajo grado, de igual al Sistema General de Regalías por la financiación del mismo.

Un reconocimiento al interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas de mi compañera y amiga I.AI M.Sc. Laura Latorre Vásquez, por el ánimo incondicional y la confianza depositada.

Al Grupo de investigación GAIDA por la asesoría y el apoyo.

A Laboratorios especializados por su dedicación e interés.

A todos mis amigos, compañeros y a todas las personas que de alguna manera aportaron para la culminación de este trabajo de grado.

CONTENIDO

	PAG
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. Generalidades de <i>Solanum quitoense</i> Lam.....	18
1.1.1. Origen.....	18
1.1.2. Botánica y Taxonomía	18
1.1.3. Descripción Morfológica de <i>S. quitoense</i>	19
1.1.4. Condiciones agroecológicas.....	19
1.2. Cultivares de Lulo	20
1.2.1. Obtención de Familias de Medios hermanos (MH)	20
1.3. Producción del Lulo	21
1.3.1. Comercialización del Lulo	21
1.4. Características fisicoquímicas del fruto de Lulo <i>S. quitoense</i>	22
1.4.1. Tamaño y Peso de frutos de Lulo <i>S. quitoense</i> L.	23
1.4.2. Firmeza de frutos de Lulo <i>S. quitoense</i> L.....	23
1.4.3. Sólidos solubles totales de frutos de Lulo <i>S. quitoense</i> L.	23
1.4.4. Contenido de Vitamina C de frutos de Lulo <i>S. quitoense</i> L.....	24
1.4.5. pH y acidez de frutos de Lulo <i>S. quitoense</i> L.....	24
1.4.6. Índice de Color de frutos de Lulo <i>S. quitoense</i> L.....	24
1.5. Estudios relacionados	25

2. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1. Obtención del material vegetal	28
2.2. Localización del cultivo	28
2.2.1. Manejo del Cultivo	28
2.2.2. Cosecha.....	29
2.2.3. Selección de frutos.....	30
2.3. Diagrama de flujo del proceso.....	31
2.4. Diseño experimental.....	32
2.5. Variables de respuesta evaluadas	32
2.5.1. Peso de fruto (PF)	32
2.5.2. Peso de semillas (PS)	33
2.5.3. Morfología del fruto.....	33
2.5.4. Firmeza (FR)	34
2.5.5. Sólidos solubles totales (SST).....	35
2.5.6. Vitamina C (VC).....	35
2.5.7. pH.....	35
2.5.8. Acidez (Ac)	36
2.5.9. Índice de color (IC)	36
2.6. Análisis de la información.....	37
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1. Promedios de las características fisicoquímicas de 50 FMH de Lulo	39
3.1.1. Características físicas del fruto de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i>	42
3.1.2. Características químicas del fruto de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i>	48
3.2. Análisis de Regresión Múltiple	52

3.3.	Análisis de Componentes Principales	54
3.4.	Análisis de Clasificación	56
3.5.	Análisis de Varianza.....	60
3.5.1.	Peso de Fruto y Diámetro Ecuatorial	61
3.5.2.	pH y Solidos solubles Totales (SST)	62
CONCLUSIONES		64
BIBLIOGRAFÍA		65

LISTA DE TABLAS

PAG

Tabla 1. Composición química y valor alimenticio del Lulo “Castilla” y “La Selva”. Cantidades encontradas por cada 100 g de porción comestible del fruto de Lulo en base fresca.....	22
Tabla 2. Listado de los frutos de Medios Hermanos (FMH) formados de <i>S. quitoense</i> Lam, pertenecientes al grupo de Investigaciones en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.....	28
Tabla 3. Promedios de las variables peso de fruto, perímetro, área, diámetro ecuatorial y polar e índice de forma, de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	38
Tabla 4. Promedios de las variables pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza, vitamina C, índice de color y peso de semillas, de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	40
Tabla 5. Ajuste de mínimos cuadrados para la selección del mejor modelo que explica la relación del Índice de Forma, en función de las variables: PF, Pe, A, De y Dp.....	53
Tabla 6. Valores propios estimados por cada uno de los componentes principales de la muestra de FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	55
Tabla 7. Vectores asociados a los cuatro primeros componentes de la muestra de FMH de Lulo <i>Solanum quitoense</i> Lam.....	57
Tabla 8. Caracterización de los grupos por variables evaluadas de la muestra de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	58

Tabla 9. Cuadrados medios de las variables Peso (PF), diámetro ecuatorial (De), pH y Sólidos solubles totales (SST) de 3 grupos de FMH en comparación con Lulo Injertado, Castilla La Selva y <i>S. hirtum</i> , del grupo de Investigación de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.....	60
Tabla 10. Prueba de medias de Tukey para las variables Peso (PF), diámetro ecuatorial (De), pH y Sólidos solubles totales (SST) de 3 grupos de FMH en comparación con Lulo Injertado, Castilla La Selva y <i>S. hirtum</i> , del grupo de Investigación de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.....	61

LISTA DE FIGURA

	PAG
Figura 1. Tabla de color para Lulo.....	29
Figura 2. Frutos de Lulo para evaluar.....	30
Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de la caracterización fisicoquímica de los 50 FMH de Lulo.....	31
Figura 4. Medición de peso del a) fruto y b) semillas.....	32
Figura 5. Morfología del fruto de Lulo.....	33
Figura 6. Medición de textura en Lulo.....	33
Figura 7. Medición de pH en muestra de Lulo.....	35
Figura 8. Medición de color en Frutos de Lulo.....	36
Figura 9. Diagrama de flujo para el análisis de la información de 50 FMH de Lulo.....	37
Figura 10. Promedios de las variables a) diámetro ecuatorial y b) diámetro polar de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo S. quitoense Lam.....	43
Figura 11. Promedios de las variables a) peso de fruto y b) firmeza de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo S. quitoense Lam.....	44
Figura 12. Promedios de la variable índice de color de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo S. quitoense Lam.....	46

Figura 13. Promedios de las variables a) pH, b) acidez y c) sólidos solubles totales de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	48
Figura 14. Promedios de la variable vitamina C de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	50
Figura 15. Valores para el Índice de Forma experimental (observado) y calculado (predicho) para 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam.....	54
Figura 16. Análisis de clasificación jerárquica de 50 FMH de Lulo <i>S. quitoense</i> Lam., con base en el ACP.....	57

RESUMEN

Se realizó la caracterización físico-química de 50 familias de medios hermanos (FMH) de Lulo (*S. quitoense* Lam.), analizando parámetros de calidad como morfología de fruto, peso de fruto y semillas, firmeza, sólidos solubles, acidez, vitamina C, pH e índice de color, las que permitieron formar grupos con características similares mediante análisis multivariado de datos.

Se declararon diferencias estadísticas significativas para las variables de la caracterización físico-química que presentaron la media más una desviación estándar, donde la familia de medios hermanos LSCmFMH39 presento los valores más altos para las características de tamaño. En cuanto al análisis de regresión, permitió obtener un modelo matemático predictivo para el índice de forma en función de las variables del tamaño, mediante el método de ajuste de mínimos cuadrados. Por otro lado, el Análisis de Componentes Principales indicó que los cinco primeros componentes explican la variabilidad acumulada de los datos en un 76,56 %, donde las variables que más aportan a la conformación de los dos primeros componentes fueron el peso de fruto y semillas, pH, acidez, índice de color y contenido de vitamina C. El Análisis de Clasificación permitió agrupar a los frutos de familias de medios hermanos de Lulo en tres grupos, en los que la variabilidad se concentró en mayor proporción en las características de peso de semillas, sólidos solubles totales, vitamina C, firmeza, acidez e índice de color, siendo las familias de medios hermanos comparables con los cultivos comerciales.

Palabras clave: Lulo, calidad, fruto, poscosecha.

ABSTRACT

The physical-chemical characterization of 50 families of half brothers (FMH) of Lulo (*S. quitoense* Lam.), analyzing quality parameters such as fruit morphology, fruit weight and seeds, firmness, soluble solids, acidity, vitamin C, pH and color index, which allowed to form groups with similar characteristics through multivariate data analysis.

Significant statistical differences were declared for the physical-chemical characterization variables that presented the mean plus one standard deviation, where the half-sib family LSCmFMH39 presented the highest values for the size characteristics. As for the regression analysis, it was possible to obtain a predictive mathematical model for the index of form according to the size variables, by means of the least squares adjustment method. On the other hand, the Principal Components Analysis indicated that the first five components explain the cumulative variability of the data by 76.56%, where the variables that contribute most to the conformation of the first two components were the weight of fruit and seeds, pH, acidity, color index and vitamin C content. The Classification Analysis allowed grouping the fruits of half-sib families of Lulo into three groups, in which the variability was concentrated in greater proportion in the characteristics of weight of seeds, total soluble solids, vitamin C, firmness, acidity and index of color, being the families of average siblings comparable with cash crops.

Keywords: Lulo, quality, fruit, postharvest.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de Lulo *Solanum quitoense* Lam se ha convertido en un cultivo de mucha importancia teniendo en cuenta que en mercados Europeos y norteamericanos es un frutal exótico que es muy apetecido debido a su alto valor nutritivo y sus propiedades organolépticas (Asohofrucol, 2016). El Lulo, originario de la zona ecuatorial (Colombia, Ecuador y Perú) se conoce como "naranjilla" pertenece a la familia *Solanaceae*, una planta perenne arbustiva de 1 a 2,5 m de alto. Generalmente se cultiva a una altura de entre 1200 y 2800 metros sobre el nivel del mar (Bernal y Franco 2017a y Angulo, 2003).

De acuerdo con el Departamento administrativo nacional de estadística-DANE (2016) en Colombia se reporta un área sembrada de 8655,75 hectáreas, siendo el Valle del Cauca, Huila y Tolima los principales productores (52,53%); Nariño representa el 5,6% del área cosechada a nivel nacional ubicándose en el lugar número diez de los 21 departamentos productores a nivel nacional. Según la Gobernación de Nariño (Consolidado agropecuario, 2016) y Agronet (2018) en este departamento el área cosechada para el 2016 fue de 484,4 hectáreas con un rendimiento promedio de cinco toneladas por hectárea.

En el departamento de Nariño, el cultivo de Lulo se ha establecido como una alternativa de restitución a cultivos ilícitos, en fincas de economía campesina tradicional (Muñoz *et al.*, 2014). Este cultivo, tiene gran relevancia por su aporte en la generación de empleo, y por el mejoramiento del nivel de vida de los productores. Sin embargo, en este sistema productivo, existen varias fallas y limitantes para su desarrollo, las cuales están ligadas a múltiples factores relacionados con diferentes aspectos que incluyen problemas sanitarios y producción limpia; manejo agronómico con énfasis en fisiología, ecofisiología, fenología y niveles críticos de nutrientes; procesos de valor agregado; zonificación del cultivo; fisiología de poscosecha; oferta de material para la siembra; transferencia de tecnología y asistencia técnica; carencia de un banco de proyectos sobre la fruta; crédito y aspectos de política agroindustrial (Tafur, 2006 y Muñoz, 2011).

El mayor consumo de este producto es el fruto fresco, que contiene un alto valor nutricional, calidad de jugo y múltiples sus usos en la industria agroalimentaria (Pulido *et al.*, 2008), debido a su alto contenido de vitamina C, es utilizado en la industria para la elaboración de néctar, jugos, pulpas, mermeladas y jalea, sin dejar de lado sus usos culinarios y medicinales, por otro lado, la valorización de residuos como semillas y cascara para su aprovechamiento al extraer compuestos de interés en la industria como aceites y cutinas (López y Vanegas, 2012; Yepes *et al.*, 2008).

La Universidad de Nariño a través del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA), cuenta con una colección de diferentes introducciones de Lulo *S. quitoense* L, que hacen parte del programa de mejoramiento genético de Lulo de castilla en la zona Andina del departamento. A partir de investigaciones anteriores se seleccionaron 50 familias de medios hermanos con características agronómicas deseables para el establecimiento de cultivos comerciales, en este contexto la presente investigación tuvo como objetivo principal la realización de una caracterización físico-química de los frutos obtenidos de esta selección con el fin de determinar el comportamiento agroindustrial de las familias de medios hermanos seleccionadas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades de *Solanum quitoense* Lam

1.1.1. Origen

El lulo *S. quitoense* L. conocido como “naranjilla” o “lulum” es una planta que crece de forma espontánea en el área andina, bajo condiciones de sotobosque (Medina *et al.*, 2008). El centro de origen comprende Colombia, Ecuador y Perú, encontrándose entre los 1.200 y 2.300 msnm (Heiser y Anderson, 1999; Lobo y Medina, 2000).

1.1.2. Botánica y Taxonomía

El lulo *S. quitoense* es una planta arbustiva dicotiledónea, de la clase Simpétala, subclase Pentacíclica, orden Tubiflorales, familia Solanaceae, género *Solanum*, sección *Lasiocarpa* (Whalen *et al.*, 1981; Heiser y Anderson, 1999). La sección comprende entre 11 y 13 especies de arbustos y árboles pequeños (Bohs, 2004). De este grupo se encuentran en Colombia ocho taxa (Whalen *et al.* 1981; Lobo y Medina, 2000), lo cual indica que en el país se encuentra la mayor diversidad de este conjunto de especies.

Bernal y Franco (2017a), mencionan que el lulo está catalogado como una de las plantas más raras, teniendo en cuenta que se adapta a diferentes condiciones ambientales, lo que demuestra la falta de domesticación. Angulo (2006) El lulo indica que algunas de los atributos silvestres que tienen estas plantas son: espinas en los tallos, las ramas y las hojas, antocianinas en diversos órganos (color morado), frutos recubiertos por tricomas, oxidación rápida de los jugos, elevado número de semillas por fruto.

1.1.3. Descripción Morfológica de *S. quitoense*

Angulo (2006) y Bernal y Franco (2017b) describen la planta de Lulo como de hábito herbáceo con tallos de color café a verde claro, presenta una arquitectura compuesta por un tallo principal entre 30 a 70 cm de largo y grosor de 2,0 a 6,0 cm, plantas de 1,2 a 2,5 m de altura. Las hojas presentan tres estados de madurez: hojas basales gruesas y suculentas, palmeadas, lobuladas y grandes, de color verde oscuro, las de la zona media de menor tamaño y de color verde claro; las apicales son pequeñas y de color lila por el contenido de antocianina, con gran contenido de vellosidades; una hoja puede alcanzar 0,2 m² de área foliar. En algunos casos hay presencia de materiales con mayor concentración de antocianinas determinando hojas verde-moradas. Las flores son pentámera (5 sépalos y 5 pétalos) y son hermafroditas, se agrupan en racimos de hasta 10 flores y su desarrollo es escalonado en el tiempo.

Los frutos son bayas globosas, que pueden variar en forma (redondeados, achatados u ovalados), con diámetros entre 4,0 y 6,5 cm y color amarillo a naranja en su cáscara, cubierta de pelillos amarillos punzantes llamados tricomas, tiene pulpa con colores que van desde el verdoso al amarillento, es ácida y contiene gran número de semillas (400 - 1000), que aparecen en cada división, separados por lóculos, son lisas y redondas, de color amarillo claro o blanquesino, con 3 mm de diámetro (Cardenas *et al.*, 2004; Muñoz, 2010; Alvarez *et al.*, 2016).

1.1.4. Condiciones agroecológicas

La planta de Lulo se desarrolla y genera buenos rendimientos en suelos con alto contenido de materia orgánica, con drenaje adecuado y con profundidad adecuada que permita la adaptación de la raíz. Este cultivo se adapta fácilmente desde el nivel del mar hasta 2500 metros; requiere alrededor de 4 a 6 horas diarias de luz solar; una temperatura promedio entre 15 a 24 °C, siendo la óptima de 20°C (Franco *et al.*, 2002); la cantidad de agua debe

oscilar entre 1500 a 3.000ml anual; humedad relativa no mayor al 80% (Bernal *et al.*, 1998); terrenos con pendiente menor al 40 %; suelos de textura media: franca¹, franco arenosa a franco arcillosa, profundidad efectiva de 50 a 75 centímetros, bien drenados y pH de 5,5 a 6,5 (Bernal y Franco, 2017b).

1.2. Cultivares de Lulo

En Colombia las variedades e híbridos de Lulo más adoptados por los agricultores son “Lulo castilla” y “Lulo la selva”, el primero adoptado a nivel nacional y el segundo en la región norte del país. En Nariño el lulo “La selva” no ha sido adoptado por los agricultores debido a que es susceptible a rajamiento y magulladuras durante el transporte después de la cosecha (Lobo *et al.*, 2002 y Lobo, 2004)).

1.2.1. Obtención de Familias de Medios hermanos (MH)

De acuerdo con Lagos *et al.*, (2015) uno de los procesos de mejoramiento genético adoptado es la selección de prueba de progenie, en donde los fitomejoradores realizan selección de familias de medios hermanos (FMH) los cuales presentan características de comportamiento superior frente a materiales comerciales como el “Lulo castilla” que contribuyen a mejorar la producción, calidad y productividad del cultivo.

La selección entre familias de MH se basa en el comportamiento promedio de cada una de las familias, las cuales se comparan con el promedio de la población. La selección dentro de familias de MH se basa en el comportamiento individual de cada planta, la cual se compara con el promedio de la familia a que pertenece. La evaluación y selección de las mejores familias se hace a través de ensayos de campo en una o varias localidades. Este método involucra dos unidades de selección diferente, en las cuales se controla el progenitor femenino. Cada ciclo de selección requiere de dos épocas de siembra (Vega 1988).

1.3. Producción del Lulo

A nivel mundial el principal productor de Lulo en el año 2010 fue la India con 4.401.600 ton/año, seguido de Filipinas con 3.341.600 ton. y por Indonesia con 2.321.050 ton. El mercado y la comercialización del Lulo no tienen problema, ya que la demanda de la fruta es alta y va en alza tanto en el mercado nacional como en el de exportación. Para el 2009 según Agronet (2018) Colombia tuvo una producción de 117.000 toneladas de esta fruta lo cual representó el 7,8 % de la participación a nivel mundial (Muñoz, 2010; Vargas y Sierra, 2015).

En Colombia para el año 2016 Agronet (2018) registró una producción 76.811 toneladas, liderando la producción mundial, en este mismo año el área sembrada creció en 40,67% con respecto al año 2015, en tanto que la producción y el rendimiento lo hicieron en 46,52% y 9,86%.

Según la Gobernación de Nariño (Consolidado Agropecuario, 2016), la producción departamental para Nariño fue de 484,4 ha⁻¹ presentando un rendimiento promedio de 4,8 ton/has y aportando el 5,6% del área cosechada a nivel nacional, en donde los municipios con mayor área sembrada fueron: Cumbal, Albán, Samaniego, Cartago, El Tambo y Arboleda con 160 has, 85 has, 67 has, 65 has, 63 has y 51 has respectivamente.

1.3.1. Comercialización del Lulo

La comercialización del fruto de Lulo en la mayoría de los casos se realiza directamente en los sitios de producción, donde hacen presencia intermediarios y acopiadores, quienes son los encargados de recolectar y clasificar el fruto para su venta en las centrales mayoristas; en otros casos los productores venden directamente a otros agentes del final de la cadena, buscando la eliminación de intermediarios y otros agentes, para obtener mayores beneficios económicos (Angulo, 2006; Muñoz, 2011).

Según Vargas y Sierra (2015) los principales países exportadores de Lulo son Colombia y Ecuador, pero no es fácil determinar la cantidad de fruta transada en los mercados periféricos, debido al déficit de información y a la poca presencia de una partida arancelaria autosuficiente para este fruto; gracias a registros presentes en Ecuador se conoce que la necesidad de Lulo en Norteamérica la cubre Colombia en un 50%, Ecuador en un 28% y el 22% es demanda insatisfecha. En el periodo comprendido entre enero–agosto de 2014 el mayor consumidor de este fruto fue Francia con un consumo del 49% de la producción mundial, sin embargo llama la atención el descenso que ha tenido España pasando de un 70% de la participación en el año 2008 a 11 % durante 2014.

1.4. Características fisicoquímicas del fruto de Lulo *S. quitoense*

Acosta *et al.*, (2009) afirman que el Lulo *S. quitoense* es una fuente importante de proteínas, carbohidratos y vitaminas (Franco *et al.*, 2002). Sin embargo, su composición química varía de acuerdo al estado fenológico en el que se encuentre o a la variedad cultivada, en la Tabla 1 se observa la composición de los dos cultivares sembrados a nivel nacional.

Tabla 1. Composición química y valor alimenticio del Lulo “Castilla” y “La Selva”. Cantidades encontradas por cada 100 g de porción comestible del fruto de Lulo en base fresca.

Compuesto	Lulo de Castilla	Lulo la Selva
Agua	87,0%	88,0%
Proteína	0,74%	0,68%
Grasa	0,17%	0,16%
Cenizas	0,95%	0,82%
Carbohidratos	8,0%	8,0%
Fibra	2,6%	2,6%
Calcio	34,2 mg	48,3 mg
Hierro	1,19 mg	0,87 mg
Fosforo	13,5 mg	25,22 mg
Vitamina C	29,4 mg	20,8 mg

Fuente: (Franco *et al.*, 2002; FAO, 2006).

1.4.1. Tamaño y Peso de frutos de Lulo *S. quitoense* L.

Reina (1998) define que el tamaño es un parámetro dimensional que está definido por el peso y el volumen. El peso es una característica importante a considerar para muchos procesos industriales y comerciales, como el empaque, secado, almacenamiento, entre otros (Salamandra, 2006). En el Caso de frutos de lulo que son unas bayas globosas, con diámetro de 4 a 8 cm y un peso aproximado de 80 a 100 g en lulo de Castilla (Lobo *et al.*, 1983; Romero, 1961) y de 40 a 60 gramos en lulo La Selva.

1.4.2. Firmeza de frutos de Lulo *S. quitoense* L.

Ospina *et al.*, (2007) señalan que la firmeza es un atributo de la textura de las frutas y vegetales que está relacionada con el punto de cosecha, la calidad para su comercialización y el procesamiento. Zapata *et al.*, (2010) mencionan que este atributo está ligado con los cambios fisicoquímicos y estructurales del material biológico y la define la firmeza de un material como la fuerza necesaria para romper los tejidos carnosos, y está vinculada con los diferentes estados durante el proceso de maduración, en el caso específico del lulo, es una característica que es utilizada para medir la capacidad de rajamiento de los frutos, un factor determinante para su comercialización (Lobo *et al.*, 2002).

1.4.3. Sólidos solubles totales de frutos de Lulo *S. quitoense* L.

El lulo tiene un contenido importante de sólidos solubles totales, una característica que hace que sea apetecida para el consumo en fresco (Bernal y Franco, 2017a). Los Sólidos solubles totales comprenden el contenido de azúcares, ácidos y sales (AOAC, 1990), los hidratos de carbono sufren cambios bioquímicos durante la maduración por la degradación de los polisacáridos de las membranas celulares, ejercen una contribución importante sobre el aumento de la medida de azúcares. Barrera-Bello *et al.*, (2012) indica que los sólidos

solubles totales se determinan con el índice de refracción, el cual se expresa con los grados brix (°Brix) a una temperatura estándar de 20°C.

1.4.4. Contenido de Vitamina C de frutos de Lulo *S. quitoense* L.

Otra característica importante es el contenido de vitamina C de los frutos de Lulo, Chacón *et al.*, (1996) menciona que la vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, es un nutriente hidrosoluble que se encuentra en muchos frutos de la familia solanácea, algunos como el Lulo que contienen la mitad de los requerimientos diarios (Chacón *et al.*, 1996).

1.4.5. pH y acidez de frutos de Lulo *S. quitoense* L.

Otros parámetros que se tienen en cuenta para la cosecha de frutos de lulo son el pH y la acidez, para ello se tiene en cuenta la Norma Técnica Colombianas NTC 4592, la cual define el pH como la medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos, sumergidos en el líquido que se va a analizar. El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un método patrón de hidrógeno y otro de referencia (NTC 4592, 2002). En cuanto a la acidez en frutos como el lulo se define como el grado de acidez que indica el contenido en ácidos libres. Se determina mediante una valoración (volumetría) con un reactivo básico. El resultado se expresa como % del ácido predominante en el material, por otra parte, la acidez en alimentos está ligada a que puede o no tener una sensación agradable al paladar (Wagner, 2005).

1.4.6. Índice de Color de frutos de Lulo *S. quitoense* L.

El Índice de Color describe la coloración de la epidermis de los frutos de Lulo, lo que permite seguir la evolución de la maduración y para ello se expresan tres parámetros L*, a*, b*, siguiendo el estándar de iluminación de la escala espectral, donde L* describe la luminosidad y a*, b*, evalúan la saturación que da la pureza del color y el tono es el color propiamente (García *et al.*, 2011).

El IC* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad fisicoquímica de alimentos, en este caso como parámetro de cosecha y comercialización de frutos de Lulo (Vignoni *et al*, 2006; Franco *et al.*, 2017):

- Si el IC* está entre -40 a -20, su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- Si el IC* está entre -20 a -2, su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- Si el IC* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- Si el IC* está entre +2 a +20, se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- Si el IC* está entre +20 a +40, se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

1.5. Estudios relacionados

A nivel nacional se han realizado diferentes estudios relacionados con manejo pos cosecha de lulo, las mayores investigaciones de comportamiento de los frutos después de la cosecha han sido realizadas en el centro de investigación Agrossavia “La selva”.

Lobo *et al.* (2007) categorizaron la variabilidad morfológica de la colección colombiana de Lulo, especies relacionadas y entidades biológicas, encontrando que después del análisis de componentes principales, las variables de fruto revelan una alta contribución a la explicación de la variabilidad total.

Ospina *et al.* (2007) realizaron la caracterización morfológica de la fruta de Lulo (*S. quitoense* x *Solanum hirtum*), con grados de madurez comercial y días postcosecha. Los resultados mostraron que el comportamiento reológico (fractura y firmeza) es dependiente

del tiempo postcosecha y del grado de madurez, con valores de firmeza que pasan de 84,8 N a 68,5 N.

Mejía *et al.* (2012) determinaron la relación del color y parámetros fisicoquímicos en seis estadios de maduración de Lulo variedad Castilla. Los resultados mostraron que el color de la corteza del fruto varía de verde a naranja intenso, indicando la madurez, en cuanto a los sólidos solubles totales y el pH, aumentaron con forme cambian de estado, caso contrario ocurre con la acidez titulable.

González *et al.* (2014) evaluaron los cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de Lulo en tres grados de madurez. Los resultados mostraron que la madurez afecta significativamente las propiedades químicas de los frutos, las cuales aumentaron en los parámetros pH (2,89 – 2,94), sólidos solubles (6,58 – 9,04 °Brix), índice de madurez (1,83 – 2,84) y en el contenido de vitamina C (4,17 – 11,95 mg/100 g de pulpa fresca); caso contrario, la acidez disminuyó de 3,78 a 3,21 g/100 g de pulpa fresca.

Igual *et al.* (2014) evaluaron la optimización de las condiciones del secado en spray de pulpa de Lulo, y determinaron condiciones óptimas para el proceso (Temperatura del aire de 125°C, 3% (p/p) de goma arábiga y 13,4% (p/p) de maltodextrina), obteniendo como resultado el incremento del contenido de vitamina C (120 a 444 mg / 100 g de pulpa), fenoles (81,1 a 957 mg / 100 g de pulpa) y flavonoides (16,16 a 128 mg / 100 g de pulpa) totales.

Moreno y Ortiz (2014) realizaron la caracterización bromatológica y el análisis composicional de seis frutas tropicales: curuba, gulupa, aguacate, Lulo, tomate de árbol y uchuva. Los resultados obtenidos permiten tener la descripción nutricional que contribuye a la construcción de perfiles nutricionales en diferentes variedades de productos frutícolas de origen colombiano.

Álvarez *et al.* (2016) determinaron en genotipos de Lulo tolerantes a *Meloidogyne* sp., la morfología del fruto, porcentaje de pulpa, resistencia a la penetración, índice de respiración,

sólidos solubles totales y acidez titulable, cuyos parámetros permitieron seleccionar genotipos con potencial agroindustrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Obtención del material vegetal

Las Familias de Medios Hermanos provinieron de un cultivo de Lulo de Castilla, de una población experimental formada a partir de una colección realizada en el año 2008 desde la Unidad de Recursos Filogenéticos de CORPOICA La Selva, Antioquia. De la semilla resultante de estas plantas, se hicieron tres siembras sucesivas en el corregimiento de Matituy, Municipio de La Florida (Nariño). El material seleccionados presentó cierto grado de tolerancia al ataque de *Fusarium oxysporum*.

En el semestre A de 2010, de una población de 300 plantas se seleccionaron 50 por su buen comportamiento agronómico, además de otras características sobresalientes como su vigor, tamaño de fruto y buen rendimiento. De cada planta, se tomó un fruto que corresponde a una familia de medios hermanos, que experimentalmente toman el código de LSCmFMH# (Lulo de la Selva tipo Castilla), primer ciclo sembrado en Matituy, familia de medio hermano serial que va desde LSCmFMH1 hasta LSCmFMH50 (Lagos *et al.*, 2015).

2.2. Localización del cultivo

Para esta investigación las 50 FMH LSCmFMH# (Tabla 2) seleccionadas, fueron sembradas en la vereda Chapacual, municipio de Yacuanquer, ubicado a una altura de 2679 msnm, con coordenadas 77° 25' 21,2'' al este, y 1° 09' 23,7'' al norte, y con una temperatura que fluctúa entre los 16°C y 18°C.

2.2.1. Manejo del Cultivo

Se realizó un manejo agronómico convencional al cultivo implementado, en el cual se realizaron podas de formación y sanitarias cuando eran requeridas, aplicación de productos químicos preventivos y curativos cuando se presentaban enfermedades, e insecticidas cuando se presentaron plagas. El control de malezas se hizo de forma mecánica realizando un plateo a cada planta y en medio de los surcos se realizó un manejo con guadaña, con el fin de evitar la pérdida de humedad en el suelo. El plan de fertilización se hizo teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo. Aproximadamente diez meses después de la siembra, cuando los frutos estaban en el punto óptimo se inició la cosecha.

Tabla 2. Descripción de tratamientos de los frutos de Medios Hermanos (FMH) formados de *S. quitoense* L., pertenecientes al grupo de Investigaciones en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.

Código	Código	Código
LSCmFMH1	LSCmFMH18	LSCmFMH35
LSCmFMH2	LSCmFMH19	LSCmFMH36
LSCmFMH3	LSCmFMH20	LSCmFMH37
LSCmFMH4	LSCmFMH21	LSCmFMH38
LSCmFMH5	LSCmFMH22	LSCmFMH39
LSCmFMH6	LSCmFMH23	LSCmFMH40
LSCmFMH7	LSCmFMH24	LSCmFMH41
LSCmFMH8	LSCmFMH25	LSCmFMH42
LSCmFMH9	LSCmFMH26	LSCmFMH43
LSCmFMH10	LSCmFMH27	LSCmFMH44
LSCmFMH11	LSCmFMH28	LSCmFMH45
LSCmFMH12	LSCmFMH29	LSCmFMH46
LSCmFMH13	LSCmFMH30	LSCmFMH47
LSCmFMH14	LSCmFMH31	LSCmFMH48
LSCmFMH15	LSCmFMH32	LSCmFMH49
LSCmFMH16	LSCmFMH33	LSCmFMH50
LSCmFMH17	LSCmFMH34	

Fuente: GPFA (2015)

2.2.2. Cosecha

Franco *et al.* (2017), menciona que la cosecha es la fase de la explotación comercial del cultivo, en la cual el productor recolecta los frutos de lulo para su posterior

comercialización. Los frutos deben satisfacer los requerimientos del cliente, en términos de calidad, precio y condiciones de entrega. Para la recolección de los frutos procedentes de FMH, se tuvo en cuenta el momento óptimo de la cosecha (Pastrana, 1998) cuando estos alcanzaron más del 75% de color amarillo, con leves pintas verdes, según tabla de color (Figura 1) cuando estaban en grado cinco.

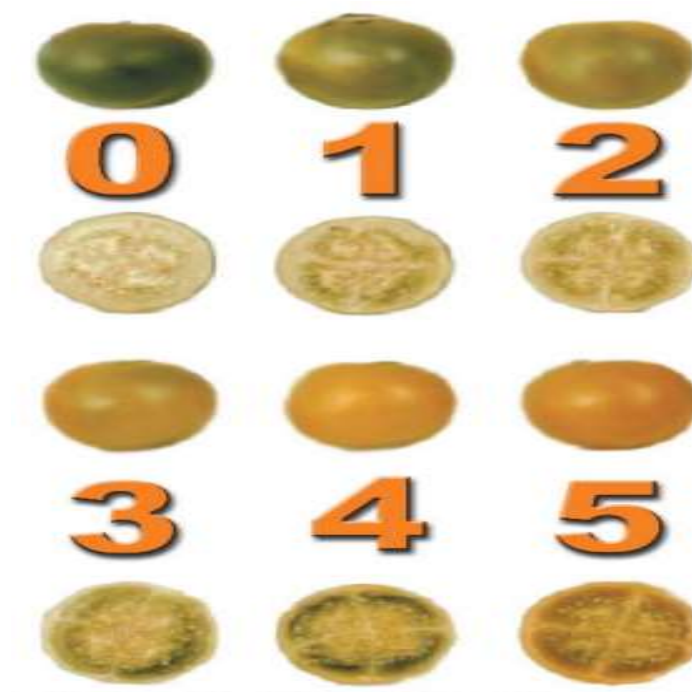


Figura 1. Tabla de color para Lulo. Fuente: (Cadena productiva Frutícola, 2006)

2.2.3. Selección de frutos

Teniendo en cuenta las condiciones anteriormente mencionadas, se realizaron cuatro pases de cosecha por dos ciclos de producción. La primera cosecha se realizó durante los meses de julio a agosto de 2014 y la segunda cosecha se realizó de marzo a abril de 2015.

Se seleccionaron 10 frutos por cada planta, correspondientes a la misma inflorescencia, teniendo en cuenta características agronómicas deseables, como peso y tamaño.

Posteriormente se depositaron en bolsas transparentes perforadas para evitar la transpiración y el aumento de temperatura, las bolsas se transportaron en canastas plásticas perforadas para evitar los daños mecánicos causados por sobrepeso y fueron transportados a los laboratorios de la Universidad de Nariño.

La realización de las pruebas de las características fisicoquímicas, se llevó a cabo en el laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño sede Torobajo, Pasto (Nariño) (Figura 2). Altura 2527 msnm, con una temperatura media de 14°C.



Figura 2. Frutos de Lulo para evaluar. Fuente: Esta Investigación.

2.3. Diagrama de flujo del proceso

Para la caracterización fisicoquímica de las 50 familias de medios hermanos de Lulo, se tuvo en cuenta el diagrama de flujo de proceso (Figura 3) que se realizó hasta el final de la investigación.

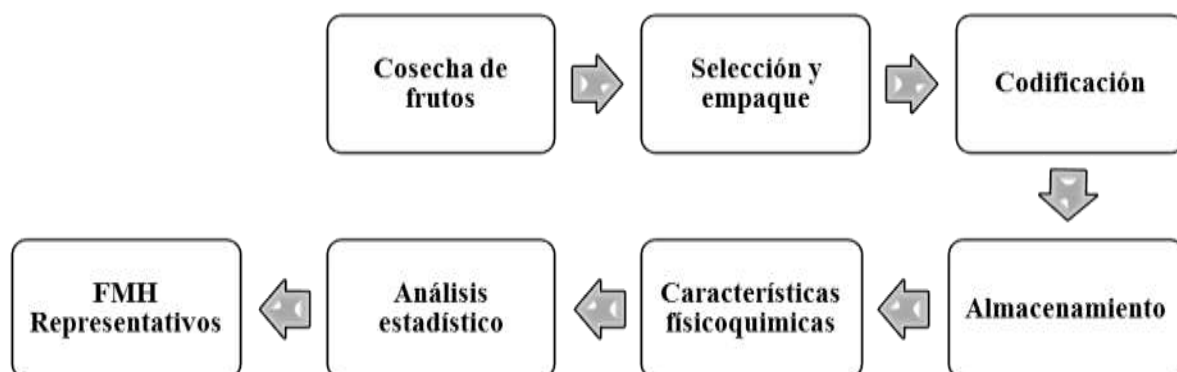


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de la caracterización fisicoquímica de los 50 FMH de Lulo. Fuente: Esta Investigación.

2.4. Diseño experimental

Para la determinación de las características fisicoquímicas de las 50 familias de medios hermanos de Lulo, se utilizó un análisis multivariado, en donde se trabajó con 50 unidades experimentales, cada unidad experimental estuvo conformada por 10 frutos de Lulo de FMH, para un total de 500 frutos evaluados.

2.5. Variables de respuesta evaluadas

2.5.1. Peso de fruto (PF)

Se utilizó una balanza analítica KERN referencia ACS 220-4 (Figura 4), para medir peso de los frutos por separado en gramos.

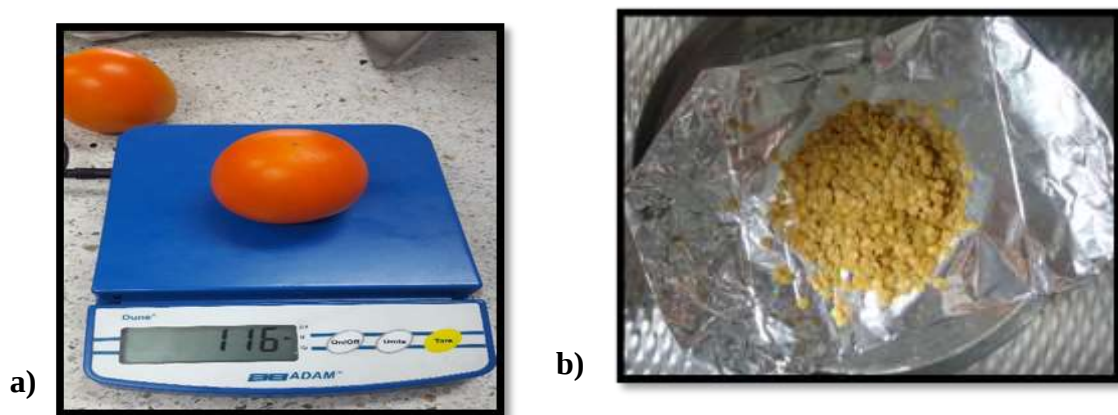


Figura 4. Medición de peso del a) fruto y b) semillas. Fuente: Esta Investigación.

2.5.2. Peso de semillas (PS)

El peso de semillas se determinó por medio de una balanza analítica KERN referencia ACS 220-4 (Yalcin *et al.*, 2007), extrayendo las semillas de cada fruto, se secaron a una temperatura de 60°C por 12 h, hasta alcanzar una humedad del 12% al 15%, las cuales fueron pesadas en gramos, por separado (Figura 4).

2.5.3. Morfología del fruto

Se midió como los parámetros área (A), perímetro (Pe), diámetros polar (Dp) y ecuatorial (De) a cada FMH de Lulo, realizando un corte longitudinal al fruto, y escaneando a una resolución de 300 dpi, con la imagen en el software Tomato Analyzer 3.0 se definieron los parámetros a medir (Figura 5). El índice de forma (IF) se calculó por la relación Dp / De , teniendo en cuenta que valores cercanos a 1, hace referencia a formas redondas (Brewer *et al.*, 2006).



Figura 5. Morfología del fruto de Lulo. Fuente: Esta Investigación.

2.5.4. Firmeza (FR)

Para medir la firmeza de los FMH de Lulo, se utilizó un texturómetro LLOYD LS1 (Figura 6) según la metodología descrita por Zapata *et al.*, (2010). Se utilizó una punta cilíndrica de 0,46 mm de diámetro con una carga de 250 Newton (N), una velocidad de 21 mm/min, se midió la fuerza desde la superficie hasta una profundidad de 1 cm. Los datos se capturaron en el software NEXYGEN Plus para cada fruto de FMH. Los resultados se expresaron en N.



Figura 6. Medición de textura en Lulo. Fuente: Esta Investigación.

2.5.5. Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST se determinó a 1 mL de jugo a cada FMH de Lulo, en un refractómetro digital Atago PAL-1 BLT / i, el jugo se extrajo mediante trituración en un mortero. La medición se realizó en °Brix que equivalen al porcentaje en peso de sacarosa en una solución acuosa, la lectura se corrigió utilizando el porcentaje de acidez, expresado en ácido cítrico, como uno de los ácidos predominantes presentes en los frutos de Lulo (González *et al.*, 2014), mediante la ecuación: $SST = 0,194 \times Ac + SST$.

2.5.6. Vitamina C (VC)

Se realizó empleando extracción sólido-líquido con solución ácida (ácido fosfórico 0,05N), en 5 g de pulpa de Lulo, mediante agitación por 30 minutos en baño de hielo. Las muestras de la solución de Lulo se centrifugaron a 6000 rpm. El extracto acuoso se filtró en discos de 0,45µm para la inyección al Cromatógrafo de Líquidos HPLC Waters Breeze – Bomba Binaria 1525, equipado con una columna Phenomenex Luna C18 (5µm, 4,6 x 250 mm) a 30°C, con un detector PDA Waters 2998 a 254 y 210 nm y un inyector Rheodyne 77251 con Loop de 20µL. La identificación del ácido ascórbico en las muestras se realizó mediante comparación con los tiempos de retención de patrones de ácido ascórbico (254 nm) analizados bajo las mismas condiciones. La cuantificación se realizó empleando estándar externo (patrón de ácido ascórbico) (Nour *et al.*, 2010), expresando los resultados en mg por cada 100 g de pulpa de Lulo.

2.5.7. pH

Se empleó una muestra (Figura 7) de 30 ml de jugo, se procedió a realizar la determinación del pH de la muestra siguiendo la NTC 4592 (ICONTEC, 2002), en un potenciómetro HANNA Instrument, Modelo Checker.



Figura 7. Medición de pH en muestra de Lulo. Fuente: Esta Investigación.

2.5.8. Acidez (Ac)

La acidez se calculó haciendo una valoración ácido-base con NaOH 0,1 N según la NTC 4623 (ICONTEC, 1999) y se determinó como % de ácido cítrico (ácido que prevalece en Lulo) en 100 g de una muestra.

$$\% \text{ acidez titulable} = \frac{V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times \text{mEq} - \text{Peso AcCitríco}}{V \text{ Muestra}}$$

2.5.9. Índice de color (IC)

El color se evaluó mediante la determinación del índice de color IC en un colorímetro CM5 Konica Minolta (Figura 8), con un iluminante D65 y un observador de 10°, obtenido por la siguiente.

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b}$$

Donde L^* , a^* , y b^* son los parámetros del sistema color CIELab. El parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro (García *et al.*, 2011).



Figura 8. Medición de color en Frutos de Lulo. Fuente: Esta Investigación.

2.6. Análisis de la información

El análisis de la información de las 50 FMH se realizó siguiendo el siguiente procedimiento presentado en la Figura 9.

En primer lugar se calcularon las medias de las 50 FMH evaluadas, y para cada una de las variables, se calculó la desviación estándar, la comparación de medias se hizo con base en lo planteado por Lagos *et al.* (2015), aquellos individuos con promedios que presentaron diferencias estadísticas a los demás, son los que superaron a la media general más una vez la desviación estándar ($\mu + \sigma$) o dos veces su correspondiente error estándar ($\mu + 2\sigma$).

Posteriormente con la información obtenida de la morfología del fruto (PF, A, Pe, Dp y De), se realizó un análisis de regresión múltiple respecto al índice de forma mediante el procedimiento de ajuste de mínimos cuadrados con el objetivo de construir un modelo para predecir una variable dados los valores de una ó más variables.

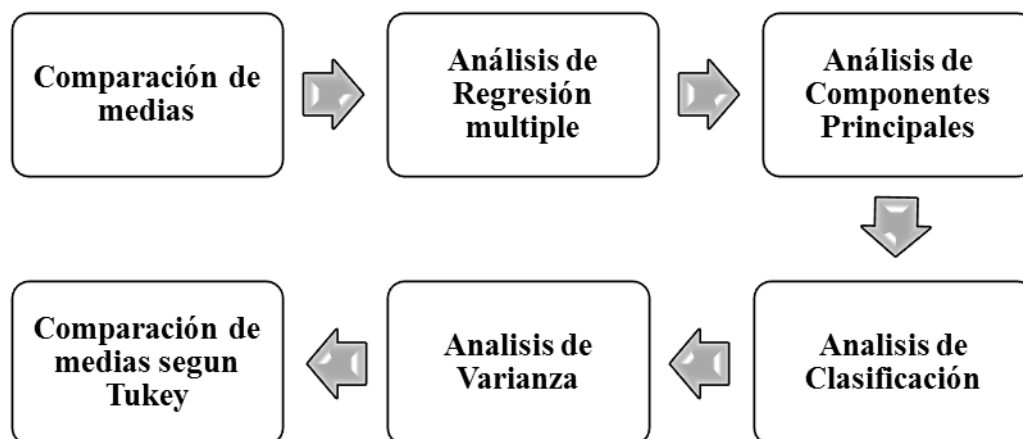


Figura 9. Diagrama de flujo para el análisis de la información de 50 FMH de Lulo. Fuente: Esta Investigación.

Los datos de las variables fisicoquímicas (PF, PS, IF, FR, SST, VC, pH, Ac e IC) se sometieron a un Análisis de Componentes Principales (ACP), para explicar la mayor variabilidad de los datos en nuevas variables artificiales (componentes). Para el análisis de clasificación jerárquica, se empleó los cuadrados de las distancias euclidianas y para la construcción del dendrograma, se basó en el criterio de clasificación de Ward.

Con los grupos de FMH formados, se realizó un análisis de varianza mediante prueba de F de Fisher (al 5% de probabilidad) a las variables peso de fruto, diámetro ecuatorial, pH y Sólidos Solubles Totales; y en el caso de diferencias estadísticas entre los tratamientos se aplicó la prueba de comparación de múltiples medias de Tukey al 95% de confianza.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Promedios de las características fisicoquímicas de 50 FMH de Lulo

En las Tablas 3 y 4, se observan las medias para cada una de las variables fisicoquímicas estudiadas en esta investigación, se declaró diferencias significativas cuando la variable presento un valor superior a la $\mu \pm \sigma$, de forma general se pudo observar que entre las 50FMH evaluados existió una gran variabilidad en cuanto a sus propiedades físico químicas.

Tabla 3. Promedios de las variables peso de fruto, perímetro, área, diámetro ecuatorial y polar e índice de forma, de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam.

Genotipo	PF (g)	Pe (cm)	A (cm ²)	De (cm)	Dp (cm)	IF
LSCmFMH1	63,45	16,30	18,31	5,06	4,43	0,88
LSCmFMH2	96,81	18,73	24,16	5,73	4,94	0,86
LSCmFMH3	117,95*	21,04*	28,51*	6,14*	5,51	0,90
LSCmFMH4	85,82	18,54	23,46	5,74	4,76	0,83
LSCmFMH5	116,80*	20,27	28,34*	6,23*	5,48	0,88
LSCmFMH6	100,43	9,65	12,81	5,96*	5,19	0,87
LSCmFMH7	86,94	19,22	22,21	5,44	5,24	0,96
LSCmFMH8	110,23*	19,94	27,77*	5,74	5,77*	1,01*
LSCmFMH9	86,20	16,12	17,24	4,79	4,38	0,91
LSCmFMH10	84,79	18,53	23,66	5,10	4,73	0,93
LSCmFMH11	87,50	17,22	19,95	5,00	5,29	1,06*
LSCmFMH12	90,24	18,54	23,79	5,37	5,09	0,95
LSCmFMH13	87,49	18,10	22,02	5,51	5,06	0,92
LSCmFMH14	75,05	17,58	20,66	5,18	5,38	1,04*
LSCmFMH15	96,81	20,56*	25,30	5,97*	5,14	0,86
LSCmFMH16	61,20	16,38	18,71	4,99	4,56	0,91
LSCmFMH17	77,10	17,41	20,79	5,37	4,79	0,89
LSCmFMH18	93,73	19,30	25,67	5,85	5,30	0,91
LSCmFMH19	86,34	18,82	23,35	5,62	5,11	0,91
LSCmFMH20	90,70	26,30*	29,98*	5,91*	6,22*	1,05*
LSCmFMH21	46,06	18,06	20,68	5,45	5,58	1,02*

Genotipo	PF (g)	Pe (cm)	A (cm ²)	De (cm)	Dp (cm)	IF
LSCmFMH22	110,67*	17,29	20,80	5,48	5,24	0,96
LSCmFMH23	75,00	17,78	22,17	5,36	5,51	1,03*
LSCmFMH24	103,00	17,83	22,23	5,19	4,62	0,89
LSCmFMH25	85,10	16,16	17,75	5,02	4,37	0,87
LSCmFMH26	101,00	19,18	24,75	5,72	5,25	0,92
LSCmFMH27	118,44*	20,42	28,78*	6,14*	5,57	0,91
LSCmFMH28	77,69	17,69	21,11	5,32	4,73	0,89
LSCmFMH29	50,59	15,89	16,20	4,84	3,92	0,81
LSCmFMH30	87,19	18,23	22,77	5,46	5,03	0,92
LSCmFMH31	108,14*	20,24	26,49	6,05*	5,28	0,87
LSCmFMH32	113,31*	19,24	25,68	5,47	5,58	1,02*
LSCmFMH33	89,10	18,54	23,14	5,50	5,20	0,94
LSCmFMH34	82,85	17,75	21,25	5,34	4,86	0,91
LSCmFMH35	74,16	17,62	21,25	5,15	5,49	1,07*
LSCmFMH36	95,84	20,42	28,49*	5,85	5,98*	1,02*
LSCmFMH37	67,33	17,00	19,89	5,06	4,72	0,93
LSCmFMH38	77,90	17,77	21,58	5,39	5,25	0,97
LSCmFMH39	126,02*	20,70*	29,69*	6,00*	5,98*	1,00*
LSCmFMH40	108,04*	17,06	20,44	6,00*	5,42	0,90
LSCmFMH41	106,80	17,60	20,93	5,28	4,82	0,91
LSCmFMH42	97,73	19,32	25,35	5,61	5,46	0,97
LSCmFMH43	77,43	17,40	20,60	5,25	4,74	0,90
LSCmFMH44	84,61	18,62	24,09	5,27	4,76	0,90
LSCmFMH45	97,80	18,54	23,89	5,35	5,32	0,99
LSCmFMH46	94,49	19,83	26,25	5,32	5,34	1,00*
LSCmFMH47	118,00*	18,98	24,72	5,42	5,80*	1,07*
LSCmFMH48	78,68	19,45	25,83	5,75	5,18	0,90
LSCmFMH49	103,47	18,16	21,11	5,74	5,33	0,93
LSCmFMH50	76,04	17,66	20,82	5,41	4,60	0,85
Media (μ)	90,56	18,38	22,91	5,50	5,15	0,94
DE (σ)	17,46	2,11	3,60	0,36	0,46	0,07
μ ± σ	108,02	20,49	26,51	5,86	5,61	1,00
μ ± 2σ	125,48	22,61	30,11	6,21	6,07	1,07
CV (%)	19,28	11,50	15,72	6,51	8,93	6,98
Máx.	126,02	26,30	29,98	6,23	6,22	1,07
Mín.	46,06	9,65	12,81	4,79	3,92	0,81

μ = media, DE (σ) = desviación estándar, CV = coeficiente de variación, Máx. = valor máximo, Mín. = valor mínimo. Fuente: Esta investigación.

Tabla 4. Promedios de las variables pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza, vitamina C, índice de color y peso de semillas, de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de *Lulo S. quitoense* Lam.

Genotipo	pH	SST (°Brix)	Ac (%)	FR (N)	VC (mg/100g)	IC	PS (g)
LSCmFMH1	3,16	9,00	8,00	75,42	17,08	5,58	1,46
LSCmFMH2	3,16	8,10	5,30	72,81	11,50	2,78	3,09
LSCmFMH3	3,16	9,50	8,00	82,16	20,20	10,85*	4,41
LSCmFMH4	3,21	9,10	6,40	75,36	29,54	3,11	3,35
LSCmFMH5	3,28	9,30	5,20	58,74	32,41	3,01	9,06
LSCmFMH6	3,15	8,10	6,50	83,76	37,72*	2,81	2,63
LSCmFMH7	3,16	11,00*	5,90	77,18	35,68*	4,93	5,06
LSCmFMH8	3,20	10,40	5,00	86,41*	37,72*	5,55	1,23
LSCmFMH9	3,18	7,10	11,00	47,24	24,32	8,96	0,99
LSCmFMH10	3,21	8,20	5,40	52,88	27,99	10,23*	5,11
LSCmFMH11	3,37*	9,40	6,00	78,61	23,00	10,98*	0,39*
LSCmFMH12	3,39*	11,10*	5,20	60,03	4,09	9,67	2,99
LSCmFMH13	3,27	10,60	4,00	88,04*	20,00	8,45	1,32
LSCmFMH14	3,13	11,40*	5,50	69,83	0,00	10,95*	1,90
LSCmFMH15	3,16	8,10	5,30	74,18	12,00	6,52	1,51
LSCmFMH16	3,22	8,40	9,00	70,74	22,31	8,61	0,69*
LSCmFMH17	3,33*	9,10	5,00	64,18	0,00	10,75*	1,44
LSCmFMH18	3,05	13,40*	5,50	75,50	14,10	9,32	2,44
LSCmFMH19	3,17	9,70	6,30	55,88	3,50	7,41	1,25
LSCmFMH20	3,07	8,40	12,50*	90,18*	21,50	4,97	6,48
LSCmFMH21	3,16	9,60	10,80	68,79	26,84	9,05	1,71
LSCmFMH22	3,24	7,40	12,10*	83,14	18,56	6,34	1,73
LSCmFMH23	3,10	9,00	5,10	49,42	27,43	5,26	6,01
LSCmFMH24	3,25	11,80*	4,90	89,42*	24,48	10,13	2,67
LSCmFMH25	3,21	10,20	4,80	82,75	26,43	5,82	1,19
LSCmFMH26	3,28	9,81	4,50	91,45*	40,24*	9,12	3,51
LSCmFMH27	3,21	8,80	10,40	46,69	50,57*	5,10	4,73
LSCmFMH28	3,14	8,40	13,50*	78,90	11,48	2,69	0,58*
LSCmFMH29	3,21	11,00*	5,70	54,91	18,23	2,35	5,31
LSCmFMH30	3,19	8,00	5,70	70,57	31,29	9,76	4,41
LSCmFMH31	3,19	7,70	11,70*	70,05	10,17	9,58	2,43

LSCmFMH32	3,23	8,10	11,80*	48,46	10,00	5,43	2,61
LSCmFMH33	3,39*	11,10*	5,20	68,76	35,80*	3,68	2,48
LSCmFMH34	3,21	9,50	5,20	74,70	13,88	7,44	2,98

Genotipo	pH	SST (°Brix)	Ac (%)	FR (N)	VC (mg/100g)	IC	PS (g)
LSCmFMH35	3,27	8,40	6,80	55,86	13,38	12,87*	1,60
LSCmFMH36	3,19	8,10	6,50	82,97	6,00	10,02	3,28
LSCmFMH37	3,54*	7,70	5,50	81,49	7,42	4,63	0,59*
LSCmFMH38	3,14	8,90	6,30	73,54	34,43*	8,49	8,36
LSCmFMH39	3,12	9,00	12,50*	77,27	33,00*	5,97	2,64
LSCmFMH40	3,11	9,90	12,50*	77,14	16,30	8,20	1,69
LSCmFMH41	3,23	7,20	11,60*	75,90	3,38	7,35	2,19
LSCmFMH42	3,23	10,00	6,40	73,95	44,22*	6,97	3,25
LSCmFMH43	3,13	10,30	13,20*	81,47	14,41	6,88	2,78
LSCmFMH44	3,16	10,00	9,70	79,43	33,87*	10,19*	2,77
LSCmFMH45	3,17	9,10	14,10*	78,00	26,36	9,61	1,77
LSCmFMH46	3,36*	7,00	10,20	70,44	8,78	8,33	3,76
LSCmFMH47	3,18	10,60	8,80	72,79	26,34	10,28*	1,19
LSCmFMH48	3,29	9,90	6,40	74,53	24,52	9,21	2,97
LSCmFMH49	3,18	9,80	12,70*	79,61	30,99	9,13	3,49
LSCmFMH50	3,17	7,60	13,80*	79,24	4,98	10,81*	1,13
Media (μ)	3,21	9,27	7,99	72,62	21,38	7,52	2,85
DE (σ)	0,09	1,35	3,15	11,61	12,16	2,71	1,88
μ ± σ	3,30	10,61	11,13	84,22	33,54	10,23	0,97
μ ± 2σ	3,39	11,96	14,28	95,83	45,70	12,94	0
CV (%)	2,78	14,54	39,39	15,98	56,87	36,04	66,01
Máx.	3,54	13,40	14,10	91,45	50,57	12,87	9,06
Mín.	3,05	7,00	4,00	46,69	0,00	2,35	0,39

μ = media, DE (σ) = desviación estándar, CV = coeficiente de variación, Máx. = valor máximo, Mín. = valor mínimo. Fuente: Esta investigación.

3.1.1. Características físicas del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense*

Los promedios correspondientes al tamaño del fruto (PF, A, Pe, De y Dp) y al índice de forma (IF) se encuentran en la Tabla 3. El área de los frutos presento un promedio general de $22,91 \pm 3,60 \text{ cm}^2$, con valores que oscilaron entre $12,81 \text{ cm}^2$ y $29,98 \text{ cm}^2$, los medios

hermanos que presentaron mayor área ($\mu \pm \sigma$) fueron: LSCmFMH3, LSCmFMH5, LSCmFMH8, LSCmFMH20, LSCmFMH27, LSCmFMH36 y LSCmFMH39. En cuanto al perímetro solo cuatro genotipos de MH (LSCmFMH3, LSCmFMH15, LSCmFMH20 y LSCmFMH39) obtuvieron promedios significativos superando los 20,49 cm. Según la definición de Brewer *et al.*, (2006) el índice de forma con valores cercanos a 1, son de forma redonda, en este caso el 24% de los frutos de FMH presentaron valores superiores a 1, siendo estos frutos más homogéneos en su forma, con valores que oscilaron entre 1 y 1,07 (LSCmFMH8, LSCmFMH11, LSCmFMH14, LSCmFMH20, LSCmFMH21, LSCmFMH23, LSCmFMH32, LSCmFMH35, LSCmFMH36, LSCmFMH39, LSCmFMH46 y LSCmFMH47), La forma casi esférica del Lulo se debe a que ópticamente el rango del diámetro ecuatorial y el rango del diámetro polar son similares (Rojas *et al.*, 2004).

En la figura 10, se observa la variabilidad de los datos respecto a los 50 MH de Lulo, en cuanto a los diámetros ecuatorial y polar, el promedio general se encuentra en $5,50 \pm 0,36$ cm y $5,15 \pm 0,46$ cm respectivamente, con valores que oscilan entre 3,92 cm y 6,23 cm en cada uno de los diámetros. Estos resultados están dentro de los rangos reportados por Quinchia y Carbrera (2006) y Angulo (2006), quienes mencionan que el diámetro ecuatorial de frutos de variedades de Lulo comerciales oscila entre 4,00 a 8,00 cm, Viteri *et al.* (2009), registraron que frutos provenientes de plantas de *S. quitoense* “Lulo Castilla” presentaron un diámetro entre 5 cm y 6,4 cm, al respecto Moncayo (2017), menciona un diámetro promedio de 6,3 cm en Lulo injertado (*S. quitoense* x *S. hirtum*) y Pineda (2018), reportó valores promedio de diámetro ecuatorial de $4,51 \pm 0,76$ cm en diferentes introducciones de “Lulo Castilla”. Estos valores de Lulos comerciales superan el tamaño de lulos silvestres como el caso específico de *S. hirtum*, cuyo tamaño es pequeño y presenta un diámetro inferior a 2,5 cm (Revelo *et al.*, 2010) y del híbrido interespecífico *S. quitoense* x *S. hirtum* denominado dentro de la colección del grupo de Grupo de Investigaciones de Frutales Andinos “PL-35” un tamaño de que presenta un diámetro ecuatorial promedio de 36,15 mm (Pineda, 2018). Según la NTC 1265, el Lulo de Castilla se clasifica en dos tamaños: 1 para diámetros de fruta más de 5 cm y 2 para diámetros de fruta de 4 cm a 5 cm.

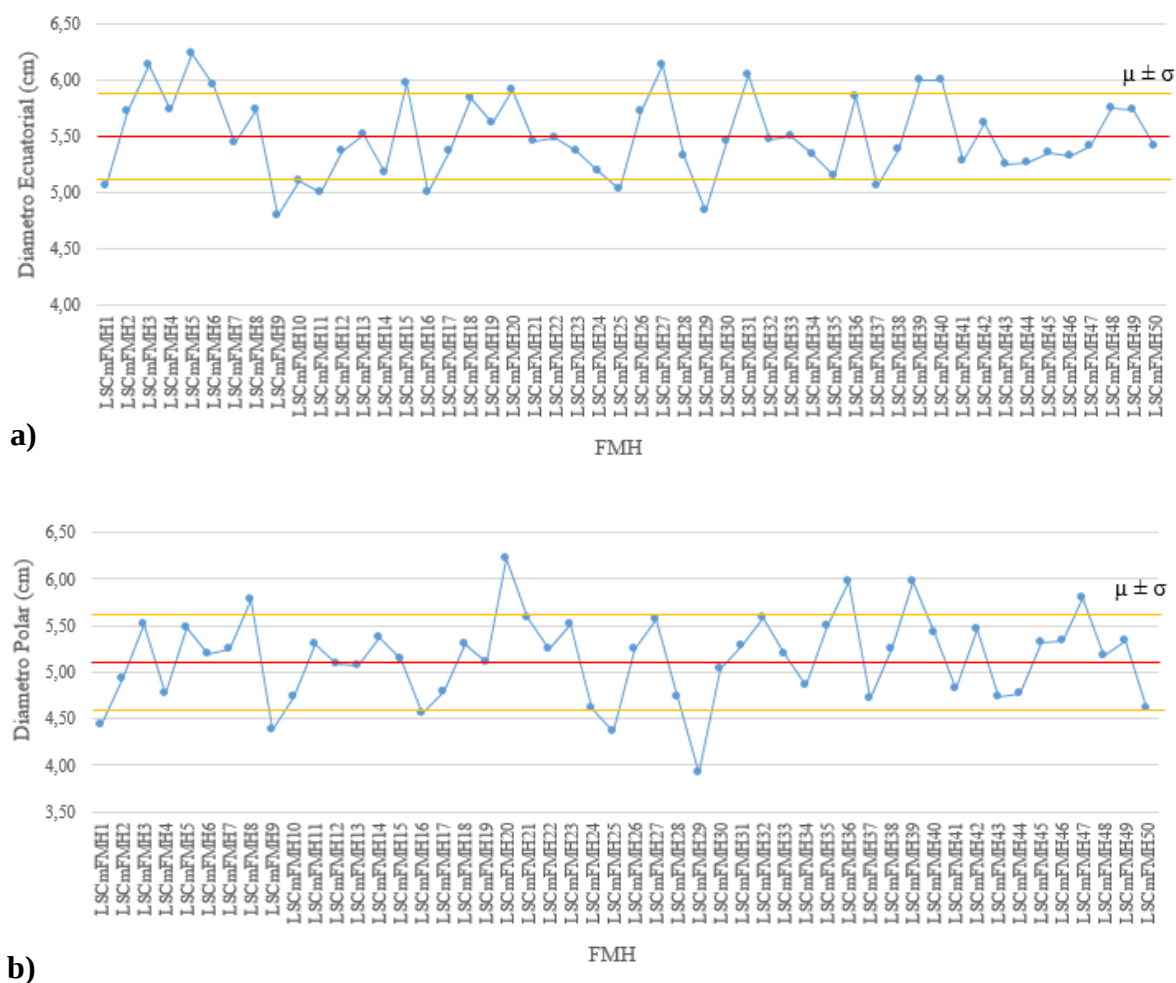


Figura 10. Promedios de las variables a) diámetro ecuatorial y b) diámetro polar de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam. Fuente: Esta Investigación.

El Promedio general de la población para el PF fue de $90,56 \pm 17,46$ g. El peso de los frutos de Lulo oscilo entre 46,06 g y 126,02 g (Figura 11). Los frutos de medios hermanos que superaron promedios de $\mu + \sigma = 108,02$ g, fueron LSCmFMH3, LSCmFMH5, LSCmFMH8, LSCmFMH22, LSCmFMH27, LSCmFMH31, LSCmFMH32, LSCmFMH39, LSCmFMH40 y LSCmFMH47, que representan el 20% de la población.

Santacruz (2004) reporta que el peso de los frutos de *S. quitoense* Lam se encuentra en el rango de 92,67 a 140 g, Viteri *et al.* (2009) menciona que el peso de frutos provenientes de plantas de *S. quitoense*, varió entre 80 y 139 g, al respecto Arizala *et al.* (2011) afirma que en promedio obtuvieron frutos de *S. quitoense* con un peso medio de 98 g y de 72 g para frutos provenientes de plantas injertadas de *S. quitoense* x *S. hirtum*, estos resultados coinciden con los reportados por Moncayo (2017) encontró un peso promedio de 129 g para el mismo injerto. Otros resultados, encontrados por Silva (2015) en donde el peso promedio de frutos para los genotipos evaluados de *S. quitoense* Lam., variaron entre 108 g y 134 g. Moncayo (2017), resultados que concuerdan con los encontrados en esta investigación.

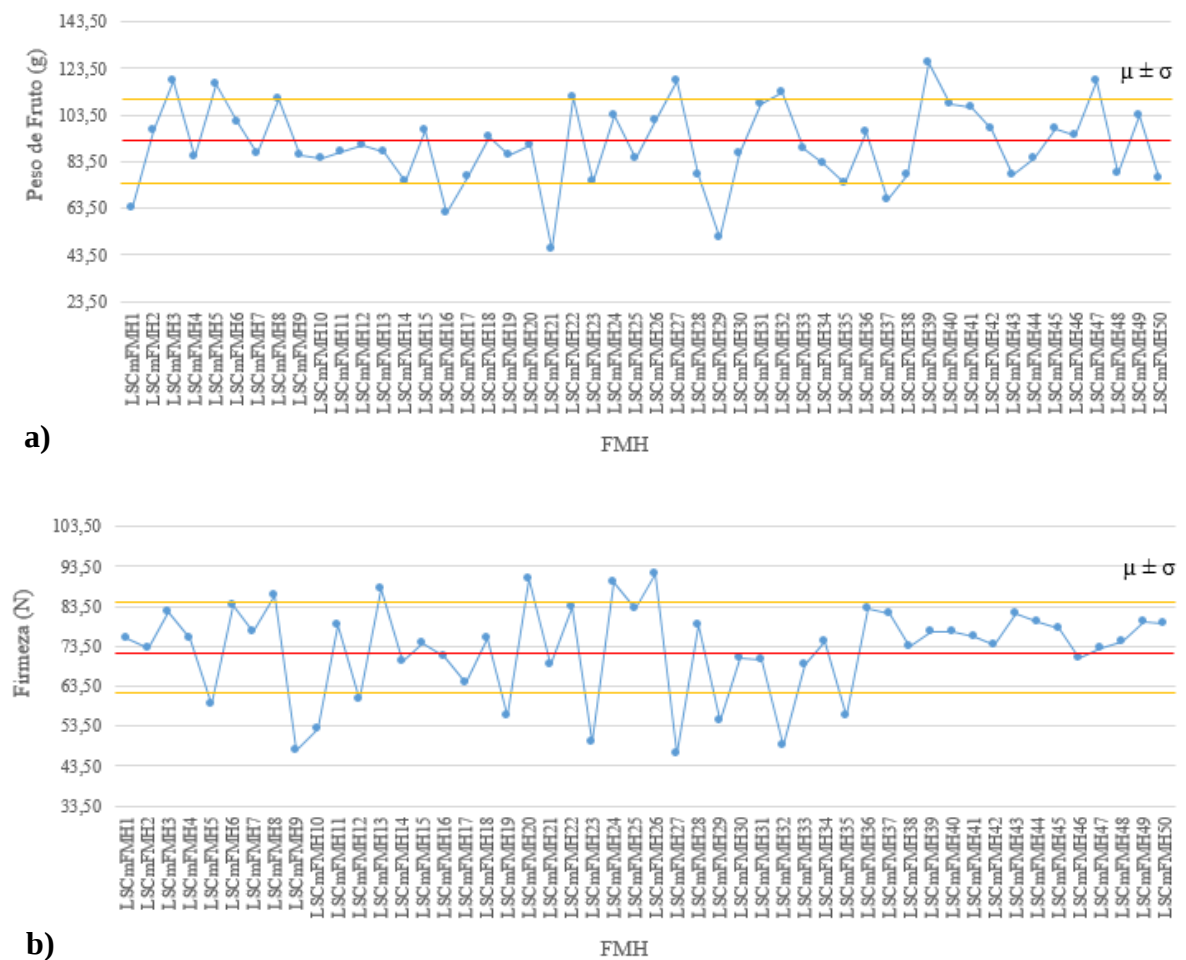


Figura 11. Promedios de las variables a) peso de fruto y b) firmeza de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam. Fuente: Esta Investigación.

De manera general, el fruto de Lulo LSCmFMH39, cumplió con todas las condiciones ideales de Lulos comerciales, principalmente las que conforman el tamaño y la forma, superando los valores del promedio general de la colección más una desviación estándar (Tabla 3), presentó un peso del fruto superior (PF = 126,02 g), al igual que el perímetro (Pe = 20,70 cm), el área (29,69 cm²), el diámetro ecuatorial (De = 6,00), diámetro polar (Dp = 5,98) y un índice de Forma (IF=1), como lo señala García *et al.* (2007) y la NTC 1265 (ICONTEC, 2001) estas características son ideales para que estos frutos sean aceptados fácilmente en mercados nacionales e internacionales.

En la Figura 11, se observa la variación de los datos de firmeza respecto a la familia de 50 MH (Tabla 4), donde el promedio general fue de $72,62 \pm 11,61$ N, con valores que oscilaron entre 46,69 N y 91,45 N. Solo cinco MH de Lulo superaron la $\mu + \sigma = 84,22$ N (LSCmFMH8, LSCmFMH13, LSCmFMH20, LSCmFMH24 y LSCmFMH26), resultados que concuerdan con los reportados por Ospina *et al.* (2007), quienes reportan que la firmeza de frutos de Lulo fue de 84,8 N, siendo esta característica importante para la comercialización de Lulo en estado fresco, por otra parte, Almanza-Merchan *et al.* (2016), mencionan que en Lulo variedad chonto presentó una firmeza de $82,67 \pm 8,09$ N y en la variedad Criollo fue de $75,93 \pm 7,42$ N, Pineda (2018), encontró valores de firmeza de 75,88 N, 77,32 N, 80,35 N y 81,86 N para las introducciones de “Lulo castilla” pertenecientes al grupo de investigaciones de Frutales Andinos. La firmeza de los frutos es un atributo que está relacionado con el punto de cosecha, la calidad para su comercialización y procesamiento (Ospina *et al.*, 2007), donde la comercialización de frutos frescos exige una mayor firmeza, para evitar problemas de rajaduras y magulladuras por daños mecánicos en su pericarpio (Angulo, 2006).

Los frutos de Lulo de las LSCmFMH11, LSCmFMH16, LSCmFMH28 y LSCmFMH37, presentaron valores menores de $\mu - \sigma = 0,97$ g en cuanto a peso de semillas en seco (Tabla 4), el fruto LSCmFMH5 presentó el mayor peso en seco de las semillas (9,06 g). Franco *et*

al. (2002) mencionan que por cada fruto de lulo Castilla se encuentra alrededor de 1000 semillas, con un peso promedio en estado seco de 3,5 g. Meyer (2006), encontró un promedio de 997 semillas por fruto, con un peso de 2,2 g, mientras que en estudios recientes, Lagos *et al.* (2015) reportaron que el peso de semilla para la familia LSCmmh32 presentó un PS= 2,86 gramos, en un estudio realizado a 50 familias de medios hermanos.

En la Tabla 4 y la Figura 12, se observa la variación del IC respecto a los frutos de 50 familias de MH. El promedio general para la variable IC de las FMH fue de $7,52 \pm 2,71$, y los valores de la población oscilaron entre 2,35 y 12,87. Los frutos de Lulo LSCmFMH3, LSCmFMH10, LSCmFMH11, LSCmFMH14, LSCmFMH17, LSCmFMH35, LSCmFMH44, LSCmFMH47 y LSCmFMH50, superaron la $\mu + \sigma = 10,23$, mostrando coloraciones anaranjadas.

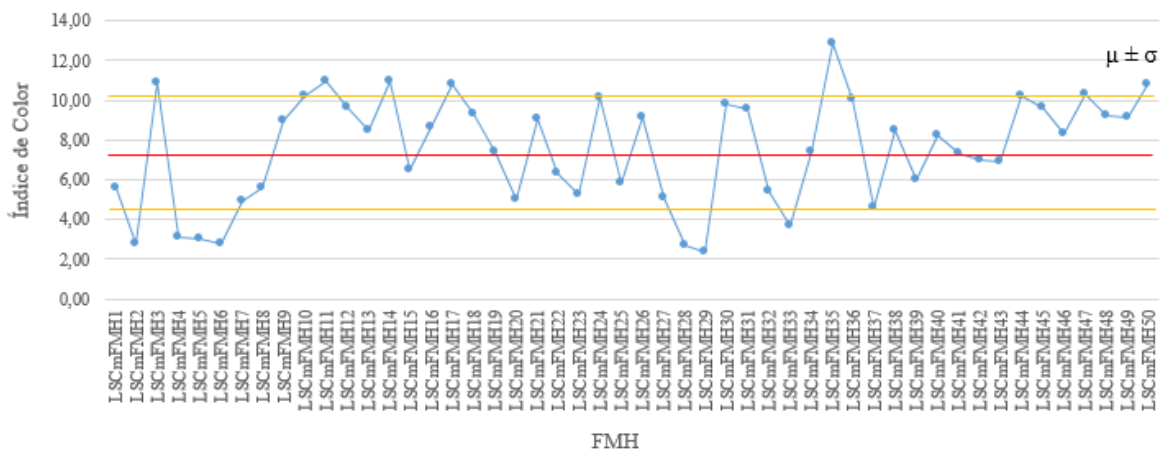


Figura 12. Promedios de la variable índice de color de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam. Fuente: Esta Investigación.

Según la escala de color presentada por Vignoni *et al.* (2006), los valores de índice de color que relaciona los parámetros de la escala CIElab de la FMH de Lulo se encuentran entre +2 a +20, que se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso,

de tal forma que la familia LSCmFMH29 (IC = 2,35) presenta una coloración amarilla clara con respecto al LSCmFMH35 (IC = 12,87) con una coloración naranja en el epicarpio del fruto, cabe resaltar que los frutos de estas familias de medios hermanos tiene un peso ideal para la comercialización (50,59g y 74,16g respectivamente).

Ospina *et al.* (2007), reporto coordenadas de color de aproximadamente 60 para luminosidad (L*), de 12 para tonalidad (a*) y 58 para saturación (b*), en Lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). En seis estadios de madurez de Lulo, se encontraron cambios de color de la corteza en el sistema CIELab de 0 a 53 (Mejía *et al.*, 2012). Según Lagos *et al.*, (2015) el mercado nacional e internacional requiere frutos que tengan pulpa de color verde, como los cultivares comerciales “La Selva” y Castilla, cultivares con pulpa amarilla no son comercializables aunque posean otro tipo de características agronómicas que sean importantes.

3.1.2. Características químicas del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense*

Los promedios correspondientes a las variables pH, SST y acidez de frutos de 50 FMH de Lulo, se encuentran en la Tabla 4. La variación de los datos puede observarse de forma gráfica en la Figura 13. En cuanto a pH, el promedio general fue de $3,21 \pm 0,09$ y los valores de la población oscilaron entre 3,05 (LSCmFMH18) y 3,54 (LSCmFMH37). Para esta variable se declararon con diferencias estadísticas a las introducciones que presentaron medias mayores a $\mu + \sigma = 3,30$, las cuales corresponden a las FMH LSCmFMH11, LSCmFMH12, LSCmFMH17, LSCmFMH33, LSCmFMH37 y LSCmFMH46.

Reportes realizados por Caicedo e Higuera, (2007), Salazar *et al.* (2007), Ospina *et al.* (2007), Mejía *et al.* (2012), González *et al.* (2014), Igual *et al.* (2014) y Álvarez *et al.* (2016), mostraron valores de pH que van desde 2,89 hasta 3,9. Muñoz (2010), al evaluar el pH tomado del jugo filtrado de la pulpa del fruto de diferentes materiales de lulo, encontró rangos de pH que variaron entre 2,46 pH a 3,58 pH. Cardona *et al.* (2016) reportaron valores de pH de 3,05 a 3,587 en pulpas de Lulo obtenidas por métodos convencionales y

de hidrocavitación, cuyos valores de pH son similares a los obtenidos en las familias de medios hermanos de lulo estudiados.

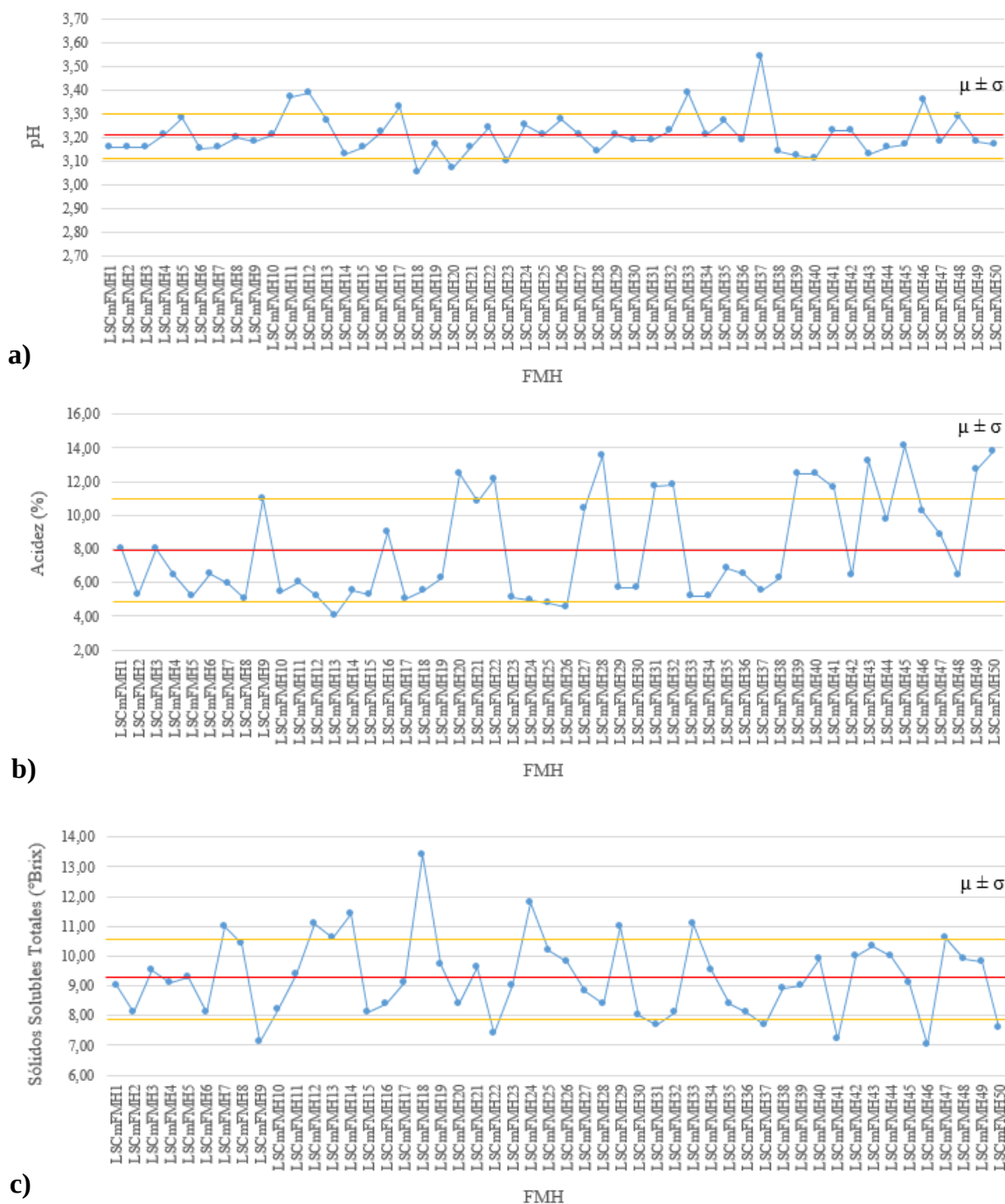


Figura 13. Promedios de las variables a) pH, b) acidez y c) sólidos solubles totales de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam. Fuente: Esta Investigación.

El promedio general para la variable SST de las 50 FMH fue de $9,27 \pm 1,35$ °Brix, y los valores de la población oscilaron entre 7,00 °Brix y 13,40 °Brix. Seis de las FMH de Lulo presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a las demás introducciones, LSCmFMH7, LSCmFMH12, LSCmFMH14, LSCmFMH18, LSCmFMH24, LSCmFMH29 y LSCmFMH33, teniendo en cuenta la $\mu + \sigma = 10,61$ °Brix, en la colección de frutos de medios hermanos del Grupo de Frutales Andinos de la universidad de Nariño (Lagos *et al.*, 2015) encontró que los Sólidos Solubles Totales para la colección evaluada oscilo entre 7,04 y 9,71 °Brix.

Datos reportados por Santacruz (2004), Ospina *et al.* (2007), Mejía *et al.* (2012), Igual *et al.* (2014), González *et al.* (2014) y Álvarez *et al.* (2016) indican que para frutos de *S. quitoense* Lam., los valores de SST varían entre 4,2 °Brix a 13,60 °Brix. Al respecto Arizala *et al.*, (2011) y Jurado *et al.*, (2013) reportaron que el contenido de SST para el injerto de *S. quitoense* sobre *S. hirtum* fue de 10.2 °Brix y 8,37 °Brix respectivamente. Muñoz (2010), al evaluar los grados Brix provenientes de 34 materiales de lulo, encontró datos que variaron según el material de lulo entre 5,6 °Brix a 12,9 °Brix.

Para la variable acidez (Ac) el promedio general de la población fue de $7,99 \pm 3,15$ %. Como se observa en la Tabla 4, los promedios para esta variable oscilaron entre 4,00 % y 14,10 %. Las FMH declaradas con diferencias significativas se consideraron cuando presentaron promedios mayores de $\mu + \sigma = 11,13$ %, las cuales corresponden a LSCmFMH20, LSCmFMH22, LSCmFMH28, LSCmFMH31, LSCmFMH32, LSCmFMH39, LSCmFMH40, LSCmFMH41, LSCmFMH43, LSCmFMH45, LSCmFMH49 y LSCmFMH50 que representan el 24 % de la población total.

En cuanto a esta variable, resultados similares fueron reportados por Alvarez *et al.* (2016), quienes mencionan en su investigación resultados de acidez titulable de genotipos de Lulos que varían entre 2,42 % a 4,6 %. En seis estadios de madurez de Lulo, se encontraron rangos de porcentaje de acidez de 2,63 a 3,00 (Mejía *et al.*, 2012). Investigación similar fue reportada por González *et al.* (2014) quienes evidencias que el estado de madurez presentan diferencias significativas en la acidez, que pasó de 3,78 % a 3,21 %.

Para el contenido de Vitamina C (VC) en las 50 FMH de Lulo, el promedio general de la población fue de $21,38 \pm 12,16$ mg / 100 g (Tabla 4 y Figura 14). Dos de las FMH no presentaron contenido de VC (LSCmFMH14 y LSCmFMH17), mientras que LSCmFMH6 (37 mg / 100g), LSCmFMH7 (36 mg / 100g), LSCmFMH8 (38 mg / 100g), LSCmFMH3926 (40 mg / 100g), LSCmFMH3927 (51 mg / 100g), LSCmFMH33 (36 mg / 100g), LSCmFMH38 (34 mg / 100g), LSCmFMH39 (33 mg / 100g), LSCmFMH4438 (34 mg / 100g), LSCmFMH4439 (33 mg / 100g), LSCmFMH42 (44 mg / 100g) y LSCmFMH44 (34 mg / 100g), presentaron promedios mayores de $\mu + \sigma = 33$ mg / 100 g, los cuales representan el 20 % de la población total evaluada.

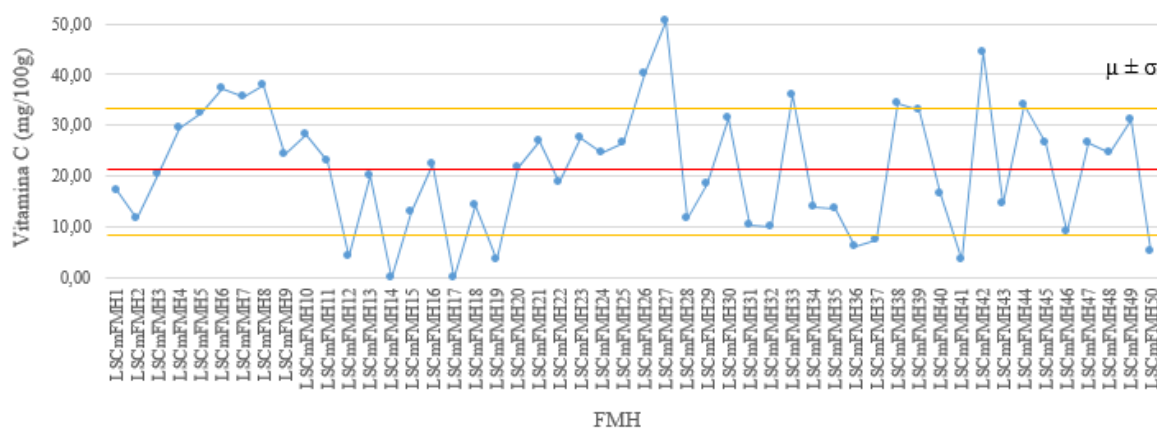


Figura 14. Promedios de la variable vitamina C de la caracterización fisicoquímica del fruto de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam. Fuente: Esta Investigación.

Igual *et al.* (2014), reportan contenido de Vitamina C en la pulpa de Lulo de 61,4 mg / 100 g, investigaciones similares fueron reportadas por González *et al.* (2014) quienes evidencian que el estado de madurez presenta diferencias significativas en el contenido de vitamina C, el cual varió de 4,17 mg/ 100 g a 11,95 mg/ 100 g de pulpa fresca. Debido a su alto contenido de vitamina C, el Lulo tiene un gran valor nutricional, y por su concentración de azúcares es una fuente considerable de energía. Chacón *et al.*, (1996) menciona que la vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, es un nutriente hidrosoluble que se encuentra en ciertos frutos como Lulo, y además presenta altos contenidos de hierro lo que le confiere características diuréticas y tonificantes, además se convierte en un solvente de toxinas del organismo y facilita la eliminación de ácido úrico (Gómez-Merino *et al.*, 2014).

3.2. Análisis de Regresión Múltiple

El análisis de regresión múltiple mediante el procedimiento de ajuste de mínimos cuadrados (Tabla 5), permitió obtener el modelo matemático predictivo para el Índice de Forma (IF) en función de las variables que representan el tamaño, como se indica a continuación.

$$IF = 0,923359 + 0,0000248066*PF - 0,00166191*Pe + 0,000650865*A - 0,168276*De + 0,184839*Dp$$

Dónde: Peso de fruto (PF), Área (A), Perímetro (Pe), Diámetro polar (Dp) y Diámetro ecuatorial (De) (Tabla 3).

Tabla 5. Ajuste de mínimos cuadrados para la selección del mejor modelo que explica la relación del Índice de Forma, en función de las variables: PF, Pe, A, De y Dp.

Método		Ajuste de mínimos cuadrados			
Variable	Parámetro	F Cal	Parámetro	F Cal	
Pe	-0,001662	-1,89ns	-0,000865	-2,08*	
De	-0,168276	-54,21**	-0,166064	-63,28**	
Dp	0,184839	80,61**	0,185617	83,61**	
A	0,000651	1,03ns			
PF	0,000025	0,41ns			
R^2	99,47		99,45		

**Diferencias altamente significativa (0,001), *Diferencias significativa (0,05). Fuente: Esta Investigación

Con el fin de ajustar el modelo a las variables que aportan significativamente a la construcción, se eliminaron aquellas variables con p valor mayor a 0,05, con los métodos de Forward y Backward (Tabla 5), obteniendo un modelo ajustado, de la siguiente manera:

$$IF = 0,909705 - 0,000865361*Pe - 0,166064*De + 0,185617*Dp$$

El valor de R^2 (99,45%), indica que los modelos así ajustados explican la variabilidad en IF respecto a las variables de tamaño del fruto de FMH de Lulo. En el modelo matemático anterior, la variable IF tiene una relación inversa con el perímetro y el diámetro ecuatorial, y una relación directa con el diámetro polar.

La Figura 15 representa los datos experimentales y los calculados para las 50 FMH de Lulo. Se manifiesta gráficamente la idoneidad del ajuste puesto que los puntos que representan la correspondencia entre datos, tienden a agruparse describiendo una línea recta.

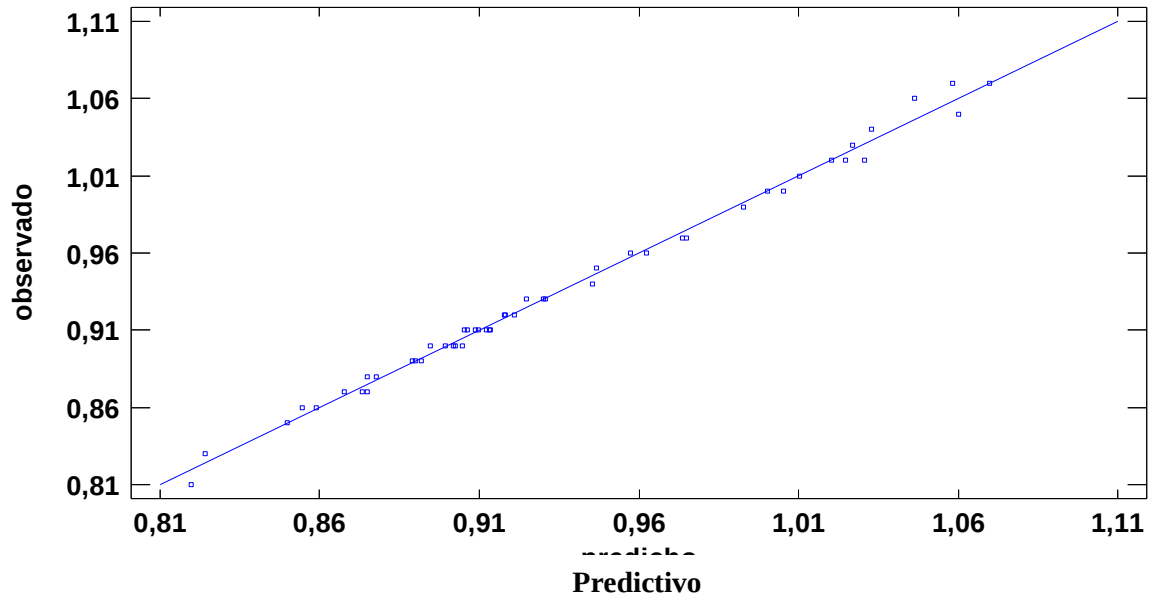


Figura 15. Valores para el Índice de Forma experimental (observado) y calculado (predicho) para 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam.

3.3. Análisis de Componentes Principales

Según el Análisis de Componentes Principales con las variables PF, IF, pH, SST, los cinco primeros componentes mostraron valores propios superiores a uno, entre ellos explican en un 76,56 % la variabilidad total de los datos (Tabla 6).

El primer componente, con una contribución del 19,68 % a la varianza total, estuvo representado principalmente por las variables: vitamina C, índice de color y peso de semillas, con correlaciones variable-factor (r_{v-f}) de $r_{v-f} = -0,75$, $r_{v-f} = 0,56$ y $r_{v-f} = -0,75$ respectivamente. El segundo componente conformado por las variables peso de fruto (PF $r_{v-f} = 0,52$), acidez (Ac $r_{v-f} = 0,84$) y pH ($r_{v-f} = -0,53$), explicó en un 17,28 % la variabilidad total de los datos. El tercer componente con un aporte de 15,03 % a la varianza total observada, estuvo representado por las variables índice de forma (IF $r_{v-f} = 0,55$), sólidos solubles totales (SST $r_{v-f} = 0,59$) e índice de color (IC $r_{v-f} = 0,54$) de los 50 frutos de FMH de Lulo evaluados.

Tabla 6. Valores propios estimados por cada uno de los componentes principales de la muestra de FMH de Lulo *S. quitoense* Lam.

Componente	Valor Propio	Porcentaje Contribución	Porcentaje Acumulado
1	1,7716	19,68	19,68
2	1,5552	17,28	36,96
3	1,3527	15,03	51,99
4	1,1985	13,32	65,31
5	1,0124	11,25	76,56
6	0,6678	7,42	83,98
7	0,5747	6,39	90,36
8	0,5194	5,77	96,14
9	0,3478	3,86	100,00

Las variable índice de forma (IF $r_{v-f} = -0,62$) y firmeza (FR $r_{v-f} = 0,70$) son las que más aportan a la conformación del cuarto componente, el cual explica en un 13,32 % la variabilidad de los datos. Por último, el quinto componente, con una contribución de 11,25 % a la varianza total, estuvo conformado por las variables peso de fruto y pH, con correlaciones variable-factor (r_{v-f}) de $r_{v-f} = 0,50$ y $r_{v-f} = 0,70$ respectivamente.

En la Tabla 7, se presenta la contribución de cada variable a la conformación de los cinco primeros componentes.

Tabla7. Vectores asociados a los cuatro primeros componentes de la muestra de FMH de Lulo *Solanum quitoense* Lam.

Variable	Componentes				
	1	2	3	4	5

PF	-0,30	0,52	0,30	-0,03	0,50
IF	0,20	0,19	0,55	-0,62	0,04
pH	0,28	-0,53	-0,14	-0,21	0,70
SST	-0,28	-0,49	0,59	0,21	-0,32
Ac	0,26	0,84	-0,12	0,10	-0,11
FR	0,04	0,09	0,47	0,70	0,26
VC	-0,75	0,09	0,25	-0,07	0,18
IC	0,56	-0,01	0,54	-0,28	-0,16
PS	-0,74	0,04	-0,11	-0,38	-0,14

Autores como Riascos *et al.* (2012) y Lobo *et al.* (2007), mencionan que la variabilidad se debe principalmente a las características relacionadas con el fruto, como se evidencia en esta investigación, siendo las características de peso, forma, acidez, vitamina C y color, las que más aportan a la explicación de la variabilidad.

3.4. Análisis de Clasificación

Con el ACP se generó el dendrograma del Análisis de Clasificación, el cual permitió agrupar a los FMH en 3 grupos bien definidos a una distancia euclidiana de 0,8 (Figura 16).

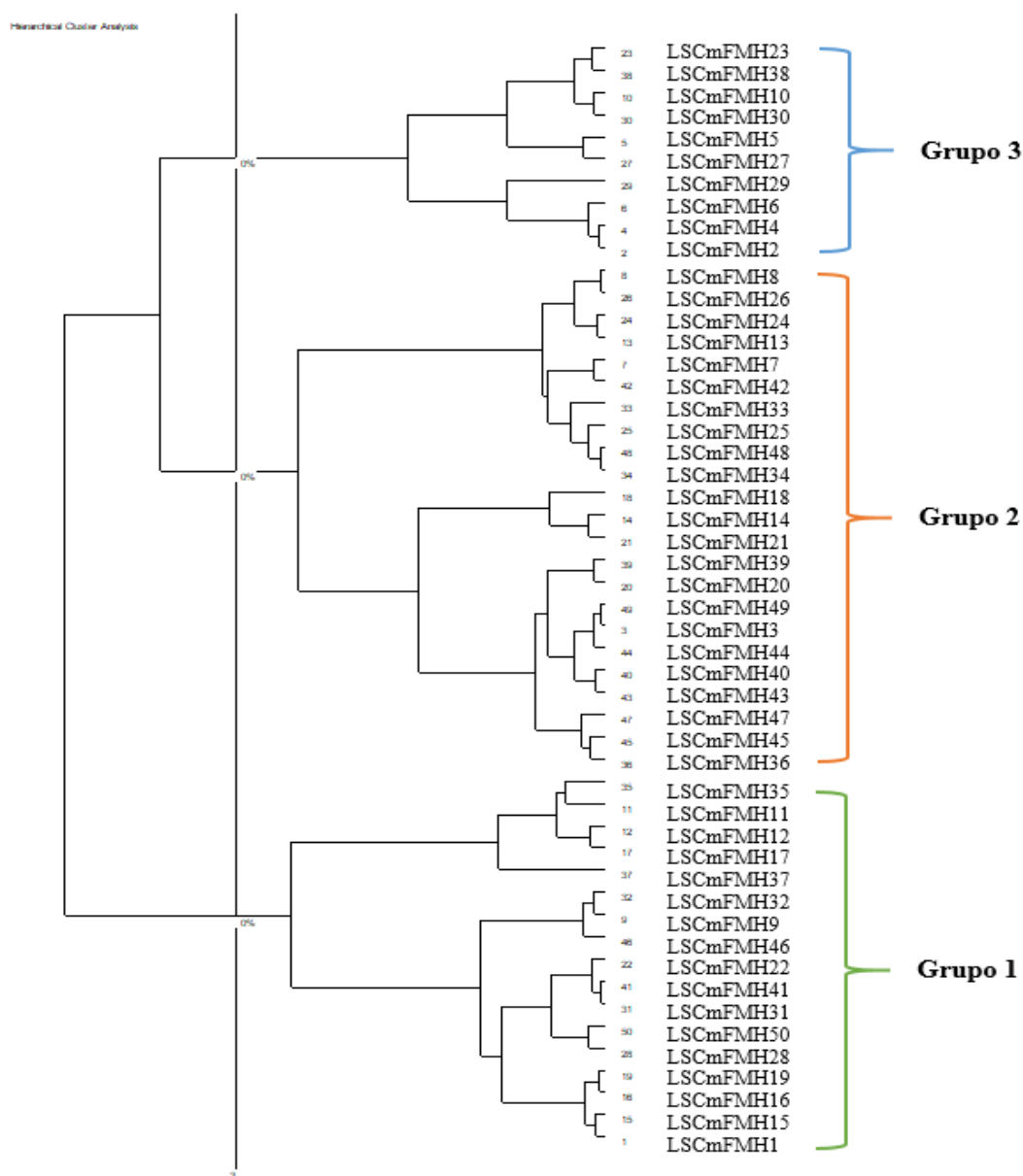


Figura 16. Análisis de clasificación jerárquica de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam., con base en el ACP

El primer grupo se formó a una distancia euclidiana de 0,64, en el cual se encuentran 17 FMH de Lulo, que representan el 34 % de la población total. Las FMH: LSCmFMH35, LSCmFMH11, LSCmFMH12, LSCmFMH17, LSCmFMH37, LSCmFMH32, LSCmFMH9, LSCmFMH46, LSCmFMH22, LSCmFMH41, LSCmFMH31, LSCmFMH50, LSCmFMH28, LSCmFMH19, LSCmFMH16, LSCmFMH15 y

LSCmFMH1, se caracterizan por tener un peso de semillas menor al del promedio general (1,70 g < 2,85 g), un contenido de sólidos solubles totales promedio de 8,37 °Brix, el cual se encuentra por debajo del promedio general (9,27 °Brix) y un contenido de vitamina C por debajo del promedio (12 mg / 100 g < 21,38 mg / 100 g) (Tabla 8).

Tabla 8. Caracterización de los grupos por variables evaluadas de la muestra de 50 FMH de Lulo *S. quitoense* Lam.

Grupo	1	2	3
Variable	$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$
PS (g)	1,70 $\pm$ 0,93	----	4,97 $\pm$ 1,99
SST (°Brix)	8,37 $\pm$ 1,03	10,19 $\pm$ 1,08	----
VC (mg/100g)	12 $\pm$ 0,08	----	31 $\pm$ 0,10
FR (N)	----	80,24 $\pm$ 6,21	65,38 $\pm$ 11,73
Ac (%)	----	----	6,09 $\pm$ 1,38
IC	----	----	5,13 $\pm$ 2,71

μ : media en el grupo, σ : desviación estándar. Fuente: Esta investigación.

El segundo grupo, formado a una distancia de 0,63, con el 46 % (23 FMH: LSCmFMH8, LSCmFMH26, LSCmFMH24, LSCmFMH13, LSCmFMH7, LSCmFMH42, LSCmFMH33, LSCmFMH25, LSCmFMH48, LSCmFMH34, LSCmFMH18, LSCmFMH14, LSCmFMH21, LSCmFMH39, LSCmFMH20, LSCmFMH49, LSCmFMH3, LSCmFMH44, LSCmFMH40, LSCmFMH43, LSCmFMH47, LSCmFMH45 y LSCmFMH36) del total de la colección de FMH de Lulo, presenta un contenido promedio de sólidos solubles totales de 10,19 °Brix, superior al promedio general (9,27 °Brix), y un promedio de firmeza de 80,24 N, por encima del promedio general de 72,62 N (Tabla 8).

En cuanto al tercer grupo, se encuentran 10 FMH, que corresponden al 20 % de la población total, formado a una distancia euclidiana de 0,40. Las FMH: LSCmFMH23,

LSCmFMH38, LSCmFMH10, LSCmFMH30, LSCmFMH5, LSCmFMH27, LSCmFMH29, LSCmFMH6, LSCmFMH4 y LSCmFMH2, se caracterizan por presentar promedios superiores al del promedio general en las variables peso de semillas ($4,97 \text{ g} > 2,85 \text{ g}$) y contenido de vitamina C ($31 \text{ mg} / 100 \text{ g} > 21 \text{ mg} / 100 \text{ g}$). Y por presentar promedios por debajo del promedio general de la colección, en las variables acidez ($6,09 < 7,99 \%$), firmeza ($65,38 \text{ N} < 72,62 \text{ N}$) e índice de color ($5,13 < 7,52$), siendo FMH de Lulo, menos firmes que los otros grupos y de coloración anaranjada claro.

El consumo de frutos de Lulo rara vez se realiza en fresco, principalmente debido a su acidez, por ende unos de los principales formas de consumo es en bebidas, conservas, postres, concentrados congelados y puede fermentarse para elaborar vino, debido a su potencial nutricional (vitaminas, proteínas y minerales) (Igual *et al.*, 2014). Por ende, cada uno de los grupos formados puede destinarse tanto para su comercialización en fresco, o para ser utilizado como materia prima en la elaboración de diversos procesos; destacando el grupo 2 para elaboración de dulces y mermeladas por su alto contenido de SST ($10,19^\circ\text{Brix}$), mientras que el grupo 3, debido a su contenido de vitamina C puede emplearse en la producción de jugos.

Colombia, es un país que cuenta con ofertas ambientales óptimas para el cultivo de Lulo, lo que conlleva a las diversas investigaciones que se realizan en la caracterización de diferentes introducciones, con el propósito de dar respuesta a los diferentes problemas de este cultivo. Autores como Lobo *et al.* (2007), determinaron la variabilidad morfológica de la colección Colombiana de Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y especies relacionadas de la sección *Lasiocarpa*, encontrando que en los 8 primeros componentes se explica la variabilidad acumulada en un 79,2%, siendo las variables que más aportan a la conformación de los componentes, las relacionadas con el fruto (peso, diámetros, pH, SST), y con el método de clasificación se evidenció el agrupamiento por especies. Riascos *et al.* (2012), Caracterizaron morfológicamente 39 genotipos de la colección de la Universidad de Nariño, mediante un ACP, encontrando que el 80,39 % de la variabilidad de los datos se explica en los primeros cinco componentes, se formaron cinco grupos con características

similares, con el método de clasificación jerárquica, siendo las variables semillas por fruto, pH y peso, aquellas que definieron a 3 de los grupos formados.

3.5. Análisis de Varianza

El análisis de Varianza se indica que se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables Peso, (DE), PH y significativas ($P \leq 0,05$) para SST (Sólidos solubles totales) como se observa en la Tabla 9. Para el caso de las variables pH y SST, no se tuvo en cuenta a *S. hirtum*, por ser un material no consumido y silvestre, sin embargo, presenta características de resistencia en cultivo (Pineda, 2018).

Tabla 9. Cuadrados medios de las variables Peso (PF), diámetro ecuatorial (De), pH y Sólidos solubles totales (SST) de 3 grupos de FMH en comparación con Lulo Injertado, Castilla La Selva y *S. hirtum*, del grupo de Investigación de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.

Fuente	GL	PF	De	GL	pH	SST
Cultivar	6,00	3554,9**	3,35**	5	0,284**	3,47*
Error	14,00	138,76	0,0582	12	0,00319	0,5392
CV		41,27	19,86		9,75	13,89
Media		82,65	5,16		3	8,52

* Diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$), ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$).

Para todas las variables se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey, como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10. Prueba de medias de Tukey para las variables Peso (PF), diámetro ecuatorial (De), pH y Sólidos solubles totales (SST) de 3 grupos de FMH en comparación con Lulo Injertado, Castilla La Selva y *S. hirtum*, del grupo de Investigación de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.

CULTIVARES	PF	DE	PH	SST
<i>S. hirtum</i>	19,5 a	2,96 a		
La Selva	60,34 b	4,86 b	3,09 c	6,95 a
G1	86,91 bc	5,31 bc	3,25 d	8,32 ab
G2	89,38 bc	5,57 c	3,18 cd	10,15 b
G3	93,77 c	5,59 c	3,19 cd	8,85 ab
Castilla	99,64 cd	5,48 bc	2,84 b	8,9 ab
Injerto	129 d	6,3 d	2,45 a	7,92 a

Letras diferentes en una misma columna implican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$).

3.5.1. Peso de Fruto y Diámetro Ecuatorial

En la Tabla 10, se puede observar que con respecto al peso de Fruto y diámetro ecuatorial se distinguen cuatro grupos homogéneos representados por una letra en común. Para PF se destacan los cultivares injertado (*S. quitoense* sobre patrones de *S. hirtum*) y Castilla con valores de 129 g y 99,64 g respectivamente, los cuales no presentan diferencias estadísticas entre sí, de igual manera el injerto presentó el mayor DE (6,3 cm), a diferencia del lulo silvestre *S. hirtum* que tuvo el menor PF y DE con 19,5 gramos y 2,96 cm. Con respecto al PF y DE en cultivares comerciales Quinchia y Cabrera (2006) reportan un peso y diámetro ecuatorial para variedades comerciales es de 80 a 90 gramos y 4 a 8 cm, respectivamente. Los cultivares comerciales que se encuentran en estos rangos son La Selva, G1 y G2 (FMH), por su parte los cultivares G3 (FMH), Castilla y el Injerto superaron el rango reportado por estos autores con valores de (93,77g, 99,64g y 129g). Según Riascos *et al.*, (2012) y Lagos *et al.*, (2015) estos caracteres son las variables más importantes, cuando estos frutos se utilizan para la comercialización de fruto en fresco y procesos agroindustriales.

Según Lobo *et al.*, (2007) y Lobo (2000) lulos de menor tamaño y con características comerciales como “La Selva”, tienen propiedades tolerantes a enfermedades radicales

como *Fusarium*, y ha sido adoptada fácilmente en la región norte de Colombia en donde lo cultivan para industria de jugos y pulpas, pero en Nariño esta cultivar no ha sido adoptado debido a que el tamaño está por debajo del promedio exigido en el mercado (8 cm DE y peso > 80 gramos), además de que cuando llega al estado de madurez cuatro y cinco este fruto se raja fácilmente.

3.5.2. pH y Sólidos solubles Totales (SST)

Para el caso del Lulo silvestre *S. hirtum* no existen reportes de PH y SST (Tabla 10), debido a que este tipo de Lulo no es comestible y es silvestre. En el GPFA este genotipo ha expresado fuentes de resistencia al ataque de plagas y enfermedades, en consecuencia Moncayo (2017), lo evaluó en injertos de *S. quitoense* x *S. hirtum*.

En cuanto al PH según la prueba de medias de Tukey (Tabla 10), se presentan cuatro grupos homogéneos representados por una letra en común. En este caso se observa que los grupos de MH formados y los materiales de lulo Castilla, LA Selva, injerto y *S. hirtum*, presentaron un pH ácido que oscila entre 2,45 y 3,25, datos que coinciden con los reportes realizados por Caicedo e Higuera, (2007); Salazar *et al.*, (2007); Ospina *et al.*, (2007); Mejía *et al.* (2012) y González *et al.*, (2014) y Moncayo (2017) quienes reportan un pH en lulos comerciales de 2,89 a 3,9.

En cuanto a los SST según la prueba de comparación de Medias de Tukey, se presentan dos grupos homogéneos representados por una letra en común (Tabla 10), El cultivar G2 proveniente de familias las 59 familias presentó mayor contenido de azúcares con un valor de 10,15 °Brix al contrario del Lulo “La selva” que registró el menor valor con 6,95 °Brix. Por su parte Moncayo (2017) reportó que en el cultivar Injertos encontró un valor similar de 7,29 °Brix, por otra parte Santacruz, (2004) indican que para frutos en madurez cinco de *S. quitoense* Lam., el promedio de SST fue de 13,60 °Brix. Al respecto Arizala *et al.*, (2011) reportó que el contenido para *S. quitoense* fue de 10 °Brix y que para el injerto de *S. quitoense* sobre *S. hirtum* fue de 10,2 °Brix. Por su parte, Jurado *et al.*, (2013) manifiestan que la media para el contenido fue de 7,43 °Bx para frutos provenientes de plantas de *S.*

quitoense y de 8,37 °Brix para frutos provenientes del injerto *S. quitoense*, sobre *S. hirtum*, sin que se hayan establecido diferencias estadísticas significativas.

En postcosecha las variables dependen de múltiples factores, entre los que se destacan los genéticos, climáticos y agro culturales (típicos de región). La importancia radica en que las frutas alcancen un alto rendimiento en pulpa, un aumentado valor de SST reflejados como °Brix. En algunos frutos se requieren altos contenidos de acidez y características sensoriales como sabor, color, aroma y apariencia. Las características físico-químicas también varían de acuerdo al índice de madurez, el contenido de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) y el contenido de ácidos orgánicos (Muñoz, 2011).

CONCLUSIONES

- La familia de medios hermanos LSCmFMH39 presento las características más altas en cuanto a las variables que representan el tamaño, y el medio hermano LSCmFMH29, evidencio los valores más bajos en cuanto al tamaño.
- El modelo matemático obtenido permite predecir el Índice de Forma del Lulo, teniendo en cuenta parámetros de tamaño como el peso de fruto, área, perímetro y diámetros ecuatorial y polar.
- Las variedades relacionadas con la calidad del fruto (peso de fruto, firmeza, pH, SST, acidez, vitamina C y color), expresan la variabilidad de los datos obtenidos en un porcentaje mayor al 70%.
- Se formaron 3 grupos que comparten características similares, siendo el grupo tres el que presento las mejores características comerciales en relación a las variables peso de semillas, sólidos solubles totales, firmeza, acidez e índice de color.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Ó.; Pérez, A.M. y Vaillant, F. 2009. Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. Archivos latinoamericanos de nutrición. 59(1):88-94.

Agronet. 2018. Sistemas de estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Consulta: Marzo de 2018.

Almanza-Merchán, P. J. 2016. Physicochemical properties during growth and development of fruits of two varieties of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 10(2): 222-231.

Alvarez, D.; Casanova, L.; Córdoba, K. y Osorio, O. 2016. Evaluación de postcosecha y calidad de genotipos de Lulo (*Solanum quitonense* Lam.) tolerantes a *Meloidogyne* sp. VITAE, 23(Supl. 1), S785-S789.

Angulo, R. 2003. El cultivo del lulo. En: Frutales exóticos de clima frío. Bayer Crop Sciences S.A. 136 p.

Angulo, R. 2006. El Cultivo de Lulo. Colciencias, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 100 p.

AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Virginia.

Arizala, M.; Monsalvo, A.; Betancourth, C.; Salazar, C. y Lagos, T. 2011. Evaluación de solanáceas silvestres como patrones de Lulo (*Solanum quitoense* Lam) y su reacción a *Fusarium* sp. Revista de Ciencias Agrícolas. 28(1):147 – 160.

Asohofrucol. 2016. Plan frutícola nacional. Disponible en: <http://www.asohofrucol.com.co/bibliotecavirtual.php>. Consulta: Marzo de 2018.

Barrera-Bello, E., Gil, M.; García-Pajón, C.M.; Durango-Restrepo, D.L. y Gil-González, J. H. 2012. Empleo de un recubrimiento formulado con propóleos para el manejo poscosecha de frutos de papaya (*Carica papaya* L. cv. Hawaiana). Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín. 65(1): 6497-6506.

Bernal, J.A. y Franco, G. 2017a. El cultivo de lulo bajo las implementación de las buenas prácticas agrícolas –BPA. Corporación Colombiana de Investigación Corpoica Centro de Investigación “La Selva”, secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquía. Rionegro Antioquia Colombia. 173p.

Bernal, J.A. y Franco, G. 2017b. Capítulo 2: Generalidades del cultivo, pp.17-43. En: Bernal, J.A. y Franco, G. El cultivo de lulo bajo las implementación de las buenas prácticas agrícolas –BPA. Corporación Colombiana de Investigación Corpoica Centro de Investigación “La Selva”, secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquía. Rionegro Antioquia Colombia. 173p.

Bernal, J.A.; Lobo, M.y Londoño, M. 1998. Documento presentación del material “Lulo La Selva”, Rionegro. 76 p.

Bernal, J.A.; Londoño, M. y Franco, G. 2007. Lulo la selva. Reponame: Biblioteca Digital Agropecuaria De Colombia, 8 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/743>.

Bohs, L. 2004. A chloroplast DNA Phylogeny of *Solanum* Section *Lasiocarpa*. Economic Botany. 29: 177-187.

Brewer, M.L.; Lang, K.; Fujimura, N.; Ducmovic, S. y Gray, E. 2006. Development of a controlled vocabulary and software application to analyze fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant Physiology*. 141: 15-25.

Cadena Productiva Frutícola. 2006. Manual Técnico del Cultivo de Lulo (*Solanum quitoense* L.) en el departamento de Huila. Secretaria de Agricultura. Editorial Litocentral Ltda. Neiva, Huila. 34p.

Caicedo, O. e Higuera, B. 2007. Inducción de polifenoloxidasa en frutos de lulo (*Solanum quitoense*) como respuesta a la infección con *Colletotrichum acutatum*. *Acta Biologica Colombiana*., 12(1): 41 – 54.

Cardenas, W.; Zuluaga, M. y Lobo, M. 2004. Latencia en semillas de Lulo (*Solanum quitoense* Lam) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (*Solanum betaceum*) Cav. Sendt) como aspecto básico para la conservación y el monitoreo de la viabilidad de las colecciones. *Plant Genetic Resources Newsletter*. 139(1): 31-41.

Cardona, D.; Gutiérrez, L. y González, J. 2016. Evaluación del proceso de hidrocavitación en la conservación de pulpa de Lulo (*Solanum quitoense*). *VITAE*. 23(1): S567-S571.

Chacón, R.C.; Cardona, M.M.; Ariza, H.J. 1996. Caracterización físico-química de tres híbridos de lulo y lulo de Castilla, producido bajo sol y sombra. En: *Memorias I Seminario Frutales de Clima Frío Moderado*. Corpoica, Banco Ganadero, CDTF, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas. pp. 81-87.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. 2016. Dirección de Metodología y Producción Estadística, DIMPE. Resultados encuesta nacional agropecuaria ENA. https://www.dane.gov.co/files/investigacionesagropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_Conсульта: Abril, 2018.

FAO, Fichas técnicas, productos frescos y procesados. Lulo 2006, http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/LULO.HTM.

Franco, G.; Bernal, J.; Gallego, J.L.; Rodríguez, J.E.; Guevara, N.; Giraldo M.; Londoño, M. 2002. Generalidades del cultivo del lulo. En: El cultivo del lulo. Editado por Franco, G.; Bernal, J.A; Giraldo, M.J.; Tamayo, P.J.; Castaño, O.; Tamayo, A.; Gallego, J.L; Botero, M.J.; Rodríguez, J.E.; Guevara, N J.; Morales, J.E.; Londoño. M.; Ríos, G.; Rodríguez, J.L; Cardona, J.H.; Zuleta, J.; Castaño, J.; Ramírez, M.C. Asohofrucol, Corpoica, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. 97 p.

Franco, G.; Bernal, J.A. y Londoño, M. 2017. Capítulo 6: Cosecha y manejo pos cosecha. pp. 133-150. En: Bernal, J.A. y Franco, G. El cultivo de lulo bajo las implementación de las buenas prácticas agrícolas –BPA. Corporación Colombiana de Investigación Corpoica Centro de Investigación “La Selva”, secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquía. Rionegro Antioquia Colombia. 173p.

Franco, G.; J. Bernal.; M. Giraldo.; A. Tamayo.; L. Gallego., Botero, J. 2002. El cultivo del Lulo. Manizales, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. p. 70. Recuperado de http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1484883739212~975.

García, J.; Chamorro, L.; Floriano, J.; Vera, L. y Segura, D. 2007. Enfermedades y Plagas del Cultivo de Lulo (*Solanum quitoense*) en el departamento del Huila. Boletín Técnico. Naitama. 89p.

García, Y.; García, A.; Hernández, A. y Pérez, J. 2011. Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(4), 12-16.

Gobernación de Nariño. 2016. Consolidado Agropecuario de Nariño. Estadísticas de la secretaria de agricultura y medio ambiente departamental. 152p.

Gómez-Merino, C.; Trejo-Téllez, L.; García-Albarado, J. y Cadeña-Íñiguez, J. 2014. Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje *agroecosistémico* Mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9: 1741-1753

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.1-9.

Heiser, C.; Anderson, G. 1999. New Solanums. Virginia USA: Janick. 384 p.

Igual, M.; Ramires, S.; Mosquera, L.H.; Martínez-Navarrete, N. 2014. Optimization of spray drying conditions for Lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. Powder Technology, 256: 233-238.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 1999. Norma Técnica Colombiana. NTC 4623. Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable. Bogotá D.C.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2001. Norma Técnica Colombia NTC 1265 Lulo. Bogotá D.C.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002. Norma técnica colombiana. NTC 4592. Determinación de pH en frutas y hortalizas frescas. Bogotá D.C.

Jurado, J.; L. Pérez, L.; T. Lagos, T. y Benavides, C. 2013. Comportamiento agronómico de injertos de lulo de castilla *Solanum quitoense* Lam. en patrones de *Solanum spp.* Revista de Ciencias Agrícolas, 30(1), p. 54 - 64.

Lagos, T.; Apraez, J.; Lagos, L.; y Duarte, D. 2015. Comportamiento de 50 familias de medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam bajo selección recurrente. Temas agrarios, 20(2), 19-29.

Lobo, M.; Girard, E.; Jaramillo, J. y Jaramillo G. 1983. El cultivo del lulo naranjilla. ICA-informa 17(2):10-21.

Lobo, M.; Medina, C.; Delgado, O.; Zuluaga, M.L.; Cardona, M. y Osorio, A. 2002. Recursos genéticos de frutales andinos en el sistema de bancos de germoplasma del Estado colombiano. En: Memorias IV Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado, CDTF, Medellín, p. 43-54.

Lobo, M.; Medina, C.I.; Delgado, A.O. y Bermeo A. 2007. Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y especies relacionadas de la sección Lasiocarpa. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín. 60(2):3939-3864.

Lobo, M. y Medina, C. 2000. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En: Caracterização de Frutas Nativas da América Latina. Série Frutas Nativas. Edição Comemorativa do 30º aniversário da Sociedade Brasileira de Fruticultura. pp. 41-43.

Lobo, M. 2000. Estudio de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. En: Seminario nacional de frutales de clima frío. p. 27-35. (Manizales). Memorias del tercer seminario nacional de frutales de clima frío.

Lobo, M. 2004. Recursos Genéticos de Especies Frutales. Memorias VIII Congreso Venezolano de Fruticultura. Maracaibo, Venezuela, 6 al 9 de julio. Maracaibo, Venezuela. pp. 1-13.

Lobo, M. 2007. Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos. Una visión conceptual. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 7(2):40-54.

Lobo, M.; Girard, E.; Jaramillo, J. y Jaramillo, G. 1983. El Cultivo del lulo o naranjilla. Revista ICA-informa. Enero-Febrero-Marzo 1983. 27 (1):10-21.

López, J. y Vanegas, P. 2012. Exploración del potencial de aprovechamiento de residuos de lulo (*Solanum quitoense*) para la producción de biopolímeros. Acta Agronómica – Número Especial: 93-94.

Medina, C.I.; Sánchez, D.; Camayo, G.; Lobo, M.; Martínez, E. 2008. Anatomía foliar comparativa de materiales de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) con y sin espinas. Revista Corpoica. 9(1):5-13.

Medina, C. I., Lobo, M., y Martínez, E. 2009. Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 10(2): 167-179.

Mejía, C.; Gaviria, D.; Duque, A.; Rengifo, L.; Aguilar, E. y Alegría, A. 2012. Physicochemical characterization of the Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) castilla variety in six ripening stages. VITAE, 19(2): 157-165.

Meyer, C. 2006. Estudio de Prefactibilidad para la Creación de un Cultivo de Lulo de Castilla en el Municipio de Dos Quebradas Departamento de Risaralda. (Tesis Pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. 131p.

Moncayo, M.F. 2017. Comportamiento fisiológico de lulo injertado *Solanum quitoense* Lam sobre *Solanum hirtum* bajo condiciones de campo en el municipio de la Unión, Nariño. Tesis Maestría, Centro de Investigaciones de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 100p.

Moreno, E., Ortiz, B. 2014. Composición y análisis nutricional de algunas frutas tropicales de origen Colombiano. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 67(2): 1132-1134.

Muñoz, L. 2010. Evaluación Agronómica de materiales de Lulo (*Solanum sp.*) frutal de alto potencial para zonas tropicales. (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3672/1/7207002.2010.pdf>.

Muñoz, J.A. 2011. Análisis de la competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* lam.) en tres Municipios de Nariño. Tesis de maestría en desarrollo empresarial agropecuario, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 146 p.

Muñoz, J.; Rodríguez, L. y Criollo, H. 2014. Caracterización técnico-económica del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el departamento de Nariño. Agronomía Colombiana. 32(2): 276-282.

Nour, V.; Trandafir, I. e Ionica, M. 2010. HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38(1): 44-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.15835/nbha3814569>.

Ospina, D.; Ciro, H. y Aristizábal, I. 2007. Determinación de la fuerza de la fractura superficial y de firmeza en frutas de Lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 60(2):4163-4178.

Pulido, S.; Bojacá, C.; Salazar, M. y Chaves, B. 2008. Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. *Biosystems Engineering*, 101: 383-387.

Quinchia, F. y Cabrera, C.A. 2006. Manual técnico del cultivo de lulo. Primera edición, Litocentral Ltda. Neiva-Huila. 34p.

Reina, E.; Araujo, C. y Manrique, I. 1998. Manejo poscosecha y evaluación de la calidad del Lulo (*S. quitoense* L) que se comercializara en la ciudad de Neiva. Universidad Sur colombiana. Programa de Ingeniería Agrícola. p. 141.

Revelo, J.; Viteri, P.; Vásquez, W.; Valverde, F.; León, J. y Gallegos, P. 2010. Manual del Cultivo Ecológico de la Naranja. INIAP. Quito, Ecuador. 120p.

Riascos, M.; Santacruz, A.; Lagos, T.C. y Checa, O. 2012. Caracterización morfológica de 39 genotipos de la colección de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) de la Universidad de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 57-69.

Rojas, J.M.; Peñuela, A.E.; Gómez, C.E.; Aristizábal, G.E.; Chaparro, M.C. y López, J.A. 2004. Caracterización de los productos hortofrutícolas Colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. Bogotá (Colombia): Cenicafe – Federación Nacional de cafeteros de Colombia – Sena. p. 213.

Romero, R. 1961. El lulo, una fruta de importancia económica. *Agricultura tropical* 17(4): 214-218.

Salamandra, P. 2006. Algunas características de pos cosecha del lulo (*Solanum tojiro* Humb). *Revista Institucional, Universidad Tecnológica del Chocó D. L. C.*(24), 37-42.

Salazar, R.; Piedra, D. y Escarabay, P. 2007. Propiedades físico-químicas de cinco frutas de la zona sur del Ecuador para su industrialización. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 16(2), p. 20-24.

Santacruz. M. 2004. Estudio fenológico y reproductivo de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y uchuva (*Physalis peruviana* Lam) (Tesis pregrado) Unidad Universitaria de Cultivos Extensivos. Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2029/1/CPA-2004-T050.pdf>

Silva. W. 2015. Evaluación de progenies de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) en la Granja Experimental Palora – tesis (tesis pregrado). Universidad Estatal Amazónica Puyo, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/handle/123456789/69/TESIS%20DE%20WILSON%20GEOVANNY%20SILVA%20VILLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tafur, R. 2006. Propuesta frutícola para Colombia y su impacto en la actividad económica nacional, regional y departamental. En: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Memorias Primer Congreso Colombiano de Horticultura. 240 p.

Vargas, F. J. y Sierra, S. R. 2015. Inteligencia de mercados para la cadena del lulo (*Solanum quitoense*). *Journal of Agriculture and Animal Sciences*. 3(2): 38-47.

Vega, U. 1988. Mejoramiento genético de plantas. Editorial América, C.A. Maracay Venezuela. 200 p.

Vignoni, L., Césari, R., Forte, M., y Mirábile, M. 2006. Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63-67.

Viteri, D.; Vasquez, W.; Leon, J., Viera, W.; Posso, M.; Hinojosa, M.; Revelo, J. y Ochoa, J. 2009. Naranjilla de jugo (*Solanum quitoense* Lam.) injertada en patrones de solanáceas

silvestres resistentes a *Fusarium oxysporum* y *Meloidogyne incognita*. Quito, Ecuador. INIAP. 12 p.

Wagner, M. 2005. Acidez y pH. Obtenido de http://www.cerveceroscaseros.com.ar/Ph_y_acidez_%20Mauricio_Wagner.Pdf

Whalen, M.; Costich, D.; Heiser, C. 1981. Taxonomy of *Solanum* section *Lasiocarpa*. *Gentes Herbarum* 12(2): 41-129.

Yalçın, İ., Özarslan, C., y Akbaş, T. 2007. Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731-735.

Yepes, S.; Montoja, L. y Orozco, F. 2008. Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del Valle del aburrá, Colombia. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 61(1): 4422-4431.

Zapata, L., Malleret, A., Quinteros, C., Lesa, C., Vuarant, C., Rivadeneira, M., y otros. 2010. Estudios sobre cambios en la firmeza en bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencias Exactas y Naturales*, 159-171.