



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Selección e Interacción genotipo por ambiente de familias de medios hermanos de
Iulo Solanum quitoense Lam**

LIZ KATHERINE LAGOS SANTANDER I.A, MSc.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Doctorado en Ciencias Agrarias
Palmira, Colombia
2023**

**SELECCIÓN E INTERACCION GENOTIPO POR AMBIENTE DE FAMILIAS DE
MEDIOS HERMANOS DE LULO *Solanum quitoense* Lam**

LIZ KATHERINE LAGOS SANTANDER I.A, MSc.

**Trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de Doctora en Ciencias Agrarias,**

Director:

Ph.D., FRANCO ALIRIO VALLEJO CABRERA

Codirector:

Ph.D TULIO CESAR LAGOS BURBANO

Línea de Investigación:

Línea Mejoramiento Genético Vegetal

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Doctorado en Ciencias Agrarias

Palmira, Colombia

2023

Dedicatoria

A mi mentor, mi papá, su conocimiento y sabiduría siempre me inspiran.

A mi hijo Sebastián, el me enseñó que lo imposible es posible. Te amo

A mi amor David, "Amo su capacidad de recordarme las cosas buenas que tengo e ignorar el desastre que puedo llegar a ser, amo su manera de devolverme a la vida cuando el mundo se desmorona y las ganas se me hacen escasas"

A mi querido hermano Andy, gracias por estar...

A mi familia...

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Liz Katherine Lagos Santander

Fecha 19/03/2023

Fecha

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente al Doctor Franco Alirio Vallejo Cabrera, director de esta tesis y mi profesor desde hace varios años, siempre creyó en mis proyectos y recibí su apoyo de manera personal y académica y gracias a su apoyo, poder culminar mis estudios. Agradezco a la Gobernación de Nariño y al *Programa de Becas Formación de Talento Humano de alto Nivel, Fortalecimiento de Capacidades Regionales en Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el Departamento de Nariño* Fundación CEIBA, por haber financiado mis estudios doctorales

Al grupo de investigación en producción de Frutales Andinos GPFA por su apoyo y colaboración durante la investigación.

A todos los docentes del Programa de Postgrado En ciencias Agrarias línea Mejoramiento genético vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, que construyeron mis conocimientos

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

Resumen

Selección e Interacción genotipo por ambiente de familias de medios hermanos de lulo *Solanum quitoense* Lam .

El lulo (*Solanum quitoense* Lam) presenta un bajo desarrollo tecnológico, debido posiblemente a la baja disponibilidad de cultivares mejorados con características que respondan a los limitantes en los sistemas productivos de Colombia. Este frutal es de gran importancia para el sur de Colombia, dada su creciente demanda a nivel nacional y la posibilidad de generar unidades productivas de carácter empresarial e industrial. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue establecer las bases genéticas para los procesos de selección y mejoramiento genético de la especie, a través de la evaluación del comportamiento agronómico del rendimiento y calidad de fruto de 50 familias de medios hermanos (FMH), estudiar los componentes de varianza, heredabilidad y establecer el progreso genético y por último, analizar la interacción FMH por localidad interacción genotipo por ambiente con el modelo AMMI (Análisis de Varianza Combinado y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) en cuatro localidades del departamento de Nariño, Colombia.

En la primera parte de este trabajo, se obtuvo significancia en la interacción de Localidad por FMH y por lo tanto, se aplicó un índice de selección a cada ambiente y reporto que las familias de mejor comportamiento correspondieron a FMH22 y FMH45 para el municipio de Arboleda, FMH1, FMH7 y FMH25 para el municipio de San Pedro de Cartago y FMH28, FMH4, FMH36, FMH29 y FMH49 en el municipio de Tangua.

En la segunda parte el modelo AMMI mostro que para la variable RTO, FMH7 y el testigo comercial presentaron adaptación específica en la localidad de Tangua, con rendimientos de 12.82 y 13.41 t.ha⁻¹, respectivamente y PF por encima de los 100g,

siendo recomendados para esta localidad. La FMH29 presenta el promedio más alto de rendimiento con 16.14 t.ha⁻¹ y un PF de 100.53g bajo las condiciones de Arboleda, donde puede ser considerado como un genotipo de alta productividad y una opción rentable para los agricultores. Las familias FMH49 y 7 se comportaron de manera estable para VOL con promedios de 135.12 y 137.37cm³, respectivamente, RTO por encima de las 9.0 t.ha⁻¹ y PF por encima de los 100g, lo que los convierte en genotipos agronómicamente deseables y que pueden ser usados en cualquiera de los ambientes evaluados. Las FMH 49 y 25 presentan adaptación específica en Arboleda para AA (42.9 y 41.03 mg/100g, respectivamente), con RTO por encima de las 12t.ha⁻¹ y pueden recomendarse para ser utilizados por los productores en esta localidad.

En la tercera parte de este trabajo, las heredabilidades en sentido estricto a través de cuatro localidades en las 50 FMH fueron bajas para RTO (10%), IM (12%) y para PF (29%), mientras que para SST fue alta (52%). La heredabilidad entre medias de FMH fue baja para RTO (10%) e IM 17% y alta para PF (40%) y SST (43%). Las 50 FMH mostraron una heredabilidad en sentido estricto alta en RTO en las localidades de Arboleda (92%), Cartago (98%), Tangua (93%) y La Unión (78%). En SST fue alta en las cuatro localidades con valores que oscilaron entre 57 y 97%. Para PF, fue moderada en Cartago (38%), Tangua (37%), La Unión (40%) y Arboleda (18%), y en IM fue alta en Tangua (76%) y La Unión (69%) y bajas en Arboleda (10%) y Cartago (29%). La heredabilidad en sentido estricto del RTO (41%), PF (88%), SST (77%) e IM (87%) en las 10 FMH a través de las cuatro localidades presentó valores superiores al ensayo de las 50 FMH a través de localidades. La heredabilidad en sentido estricto para RTO fue alta en Arboleda (80%), moderados en Cartago (35%) y Tangua (44%) y baja en La Unión (11%). En el PF se mostró alta en Arboleda (79%), Tangua (83%) y La Unión (84%), y moderada en Cartago (43%).

Palabras clave: heredabilidad, AMMI, índice selección, Rendimiento, calidad, progreso genético.

Abstract**Selection and genotype-by-environment interaction of half-sibling families of lulo *Solanum quitoense* Lam .**

Lulo (*Solanum quitoense* Lam) has a low technological development, possibly due to the low availability of improved cultivars with characteristics that respond to the limitations of Colombia's production systems. This fruit tree is of great importance for southern Colombia, given its growing demand at the national level and the possibility of generating business and industrial production units. Therefore, the objective of this work was to establish the genetic basis for the processes of selection and genetic improvement of the species, through the evaluation of the agronomic behavior of yield and fruit quality of 50 families of half siblings (FMH), study the variance components, heritability and establish genetic progress and finally, analyze the FMH interaction by location, genotype interaction by environment with the AMMI model (Combined Analysis of Variance and the additive main effects model and multiplicative interaction) in four locations in the department of Nariño, Colombia.

In the first part of this work, significance was obtained in the interaction of Locality by FMH and therefore, a selection index was applied to each environment and reported that the best performing families corresponded to FMH22 and FMH45 for the municipality of Arboleda, FMH1, FMH7 and FMH25 for the municipality of San Pedro de Cartago and FMH28, FMH4, FMH36, FMH29 and FMH49 in the municipality of Tangua.

In the second part, the AMMI model showed that for the RTO variable, FMH7 and the commercial control showed specific adaptation in the locality of Tangua, with yields of 12.82 and 13.41 t.ha⁻¹, respectively, and PF above 100g, being recommended for this locality. FMH29 presents the highest average yield with 16.14 t.ha⁻¹ and a FP of 100.53g under Arboleda conditions, where it can be considered

as a high productivity genotype and a profitable option for farmers. Families FMH49 and 7 behaved stably for VOL with averages of 135.12 and 137.37cm³, respectively, RTO above 9.0 t.ha⁻¹ and FP above 100g, which makes them agronomically desirable genotypes that can be used in any of the evaluated environments. WFH 49 and 25 show specific adaptation in Arboleda for AA (42.9 and 41.03 mg/100g, respectively), with RTO above 12t.ha⁻¹ and can be recommended for use by producers in this locality.

In the third part of this work, heritabilities in the strict sense across four locations in the 50 FMH were low for RTO (10%), IM (12%) and for PF (29%), while for SST it was high (52%). Heritability between FMH means was low for RTO (10%) and IM 17% and high for PF (40%) and SST (43%). The 50 FMH showed high heritability in the strict sense for RTO in the localities of Arboleda (92%), Cartago (98%), Tangua (93%) and La Unión (78%).

Keywords: heritability, AMMI, selection index, yield, quality, genetic progress.

Contenido

	Pág.
Lista de tablas	xii
Lista de figuras	xv
Capítulo 1. Evaluación de familias de medios hermanos de lulo de castilla <i>Solanum quitoense</i> Lam.....	19
1.1 Resumen	19
1.2 Abstract	20
1.3 Introducción	5
1.4 Materiales y Métodos	7
1.5 Resultados y Discusión.....	10
1.6 Conclusiones	19
1.7 Bibliografía.....	23
Capítulo 2. Interacción genotipo por ambiente de genotipos de <i>Solanum quitoense</i> Lam. a través del modelo AMMI.....	24
2.1 Resumen	24
2.2 Abstract	25
2.3 Introducción	26
2.4 Materiales y Métodos	27
2.5 Resultados y Discusión.....	33
2.6 Conclusiones	57
2.7 Bibliografía.....	58
Capitulo 3. Heredabilidad de componentes del fruto y rendimiento en Familias de Medios hermanos de <i>Solanum quitoense</i> Lam.	58
3.1 Resumen	58
3.2 Abstract	59
3.3 Introducción	60
3.4 Materiales y Métodos	63
3.5 Resultados y Discusión.....	67
3.6 Conclusiones	76

3.7 Bibliografía.....77

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Características climáticas y de suelo de las localidades donde se establecieron los ensayos experimentales	7
Tabla 1-2: Cuadrados medios del ANDEVA para 12 variables evaluadas en 50 FMH de <i>S. quitoense</i> a través de cuatro localidades de la región natural Andina del departamento de Nariño.....	11
Tabla 1-3: Análisis de Correlación de Pearson para diez variables evaluadas en 50 FMH a través de cuatro localidades de la región natural Andina del departamento de Nariño.	12
Tabla 1.4: Promedios de las cinco mejores FMH para el rendimiento en t/ha (RTO), peso de fruto en g (PF), sólidos solubles totales corregidos en °Brix (SSTc), contenido de jugo por fruto en ml (CJ) e índice de madurez (IM) obtenidas en las localidades de Arboleda y Cartago (Nariño).....	14
Tabla 1-5: Promedios de las cinco mejores FMH para rendimiento en t/ha (RTO), peso de fruto en g (PF), sólidos solubles totales corregidos en °Brix (SSTc), contenido de jugo por fruto en ml (CJ) e índice de madurez (IM) obtenidas en la localidad de Tangua (Nariño).	15
Tabla 1.6: Promedio de las variables de la fracción seleccionada (20%) acorde con el índice de selección aplicado a 50 FMH de lulo evaluadas en cuatro localidades del departamento de Nariño.....	18
Tabla 2-1: Descripción de las variables climáticas y características del suelo de las localidades	28
Tabla 2-2: Promedios a través de localidades de Peso de Fruto (PF), Rendimiento (RTO), Relación Semilla/Pulpa (RSP), Volumen de fruto (VOL), Respiración (RES) y Ácido Ascórbico (AA) en 10 FMH sobresalientes de lulo (<i>S. quitoense</i>)	29

Tabla 2.3: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Peso de Fruto de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	33
Tabla 2-4: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de peso de fruto (PF) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño	34
Tabla 2-5: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Rendimiento de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	37
Tabla 2-6: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de rendimiento (RTO) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño	38
Tabla 2-7: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Volumen de Fruto de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	42
Tabla 2-8: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de volumen (VOL) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño	43
Tabla 2-9: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Índice de Respiración de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	46
Tabla 2-10: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de índice de respiración (IR) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño	47
Tabla 2-11: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Ácido Ascórbico de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	50
Tabla 2-12: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de ácido ascórbico (AA) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño	51
Tabla 3-1: El ANDEVA bajo el modelo mixto y las esperanzas de los cuadrados medios (ECM) para obtener los componentes de varianza	65

Tabla 3-2: Cuadrados medios del ANDEVA combinado para rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST), acidez titulable (AC) e índice de madurez (IM) evaluados en 50 FMH y 10 FMH provenientes de un primer ciclo de selección recurrente en la región natural andina del departamento de Nariño 67

Tabla 3-3: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto y realizada en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST) e índice de madurez del fruto (IM) de 50 FMH de lulo evaluados a través de cuatro ambientes de la regional natural Andina del departamento de Nariño 68

Tabla 3-4: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST) e índice de madurez del fruto (IM) de 50 FMH de lulo evaluados en Arboleda y Cartago, departamento de Nariño 70

Tabla 3-5: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST), acidez titulable e índice de madurez del fruto (IM) de 50 FMH de lulo evaluados en Tangua y La Unión, departamento de Nariño 71

Tabla 3-6: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST) e índice de madurez del fruto (IM) de 10 FMH de lulo evaluados a través de cuatro ambientes de la regional natural Andina del departamento de Nariño 73

Tabla 3-7: Componentes de varianza y heredabilidades en sentido estricto en rendimiento (RTO) y peso de fruto (PF) de 10 FMH de lulo evaluados en Arboleda, Cartago, Tangua y La Unión, departamento de Nariño 76

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Representación gráfica del CP1 en función del PF de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	35
Figura 2-2: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para PF de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	36
Figura 2-3: Representación gráfica del CP1 en función del RTO de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño.....	40
Figura 2-4: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para RTO de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	41
Figura 2-5: Representación gráfica del CP1 en función del VOL de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño.....	44
Figura 2-6: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para VOL de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	45
Figura 2-7: Representación gráfica del CP1 en función del IR de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño.....	48
Figura 2-8: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para IR de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	49
Figura 2-9: Representación gráfica del CP1 en función del AA de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	52
Figura 2-10: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para AA de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño	57

Introducción

El lulo, *Solanum quitoense* Lam., es un arbusto originario de la cordillera de los Andes, ampliamente cultivado desde Chile a México, siendo los principales productores Perú, Ecuador y Colombia. Este frutal tiene una alta demanda en el mercado por sus características y propiedades nutricionales (DANE, 2022). En Colombia se cultivan las variedades: *S. quitoense quitoense* (sin espinas), *S. quitoense septentrionale* (con espinas) y el híbrido «La Selva» obtenido a partir del cruzamiento de *Solanum hirtum* con *Solanum quitoense* (AGROSAVIA, 1999). Su potencial se basa en su valor nutritivo, contiene vitamina A, C y hierro y propiedades organolépticas que lo hacen apetecible en los mercados nacionales e internacionales.

El lulo se puede intercalar como un cultivo transitorio, entre frutales de clima medio tales como cítricos, aguacate, plátano o café; o durante la fase de establecimiento del lulo con cultivos de corto plazo de clima frío como frijol, arveja o algunas hortalizas (DANE, 2022) . Es una especie en proceso de domesticación que al cambiar su hábitat natural en cultivo a plena exposición solar reduce su periodo vegetativo y presenta un gran número de problemas patológicos que han limitado su desarrollo en aquellas zonas donde la temperatura y la altura son adecuadas para su cultivo (CORPOICA, 1998). Colombia cuenta con ofertas ambientales óptimas para el cultivo, pero aún no ha hecho uso de su variabilidad y biodiversidad. Por lo tanto, los agricultores se ven enfrentados a problemas de diferente índole, entre ellos los fitosanitarios, problemas de deterioro post cosecha, heterogeneidad en la calidad de la fruta, que no permiten explotar el potencial genético de la fruta. Los cultivos de lulo se han establecido en fincas de economía campesina tradicional que corresponden al 74% y el resto en fincas de economía empresarial. El lulo es importante dentro de los sistemas de producción de café como una alternativa de diversificación y mitigación ante las posibles crisis ocasionada por la fluctuación de los precios del grano (Bernal et al., 2001). Según Agronet (2023) en el año 2016

existían en Colombia 8656 has de Lulo, siendo Valle del Cauca, Huila y Tolima los principales productores (45%); Nariño representa el 12.62% del área cosechada. El resto se encuentra distribuido en 17 departamentos más. El área sembrada en el departamento de Nariño se incrementó en los últimos años, según Agronet (2023) en el año 2016 se contaba con 485 has que se aumentaron en el 2021 a 900 has. Por lo anterior, es importante incrementar el rendimiento ya que existen problemáticas que no permiten expresar su potencial; la mayoría de los cultivares existentes han mostrado ser susceptibles a problemas limitantes de la producción causados por hongos, como *Fusarium spp.*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Colletotrichum gloesporioides*, *Gloesporium sp.*, *Phytophthora infestans*, *Cladosporium sp.*; por bacterias como *Ralstonia solanacearum*, *Erwinia sp.*; por nemátodos como *Meloydogine incognita*; por insectos plaga como *Neolucinodes elegantalis*, *Alcidion sp.* y *Melanogromyza sp.*, por ácaros y por virus. Problemas que en la mayoría de los casos ocasionan la muerte de la planta o la debilitan, reducen la vida útil del cultivo y disminuyen su capacidad productiva (Eraso y Flórez, 1994).

Aunado a lo anterior los programas de investigación son escasos a nivel nacional y a nivel regional. La falta de programas de fitomejoramiento en el cultivo de lulo, así como el carácter alogamo de la planta, no ha permitido obtener soluciones duraderas para los problemas fitosanitarios del lulo, obteniéndose baja productividad de la especie y limitando los ingresos de los agricultores, ocasionando la desaparición de grandes áreas de cultivo, tal como ha sucedido en los municipios de Buesaco, la Florida y la Unión del departamento de Nariño. A nivel local, se debe destacar a la Universidad de Nariño, que a través del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA), ha venido trabajando desde el año 2008, contribuyendo con la competitividad de los productores de lulo mediante la obtención del primer injerto de lulo registrado para el departamento de Nariño, sin embargo aún se hace necesario incrementar la productividad y sostenibilidad del cultivo de lulo, partiendo con una línea estratégica de generación y evaluación de germoplasma promisorio (variedades, clones, líneas e híbridos) para el sur occidente de Colombia.

Son escasos los reportes conocidos hasta el momento de estudios de interacción genotipo por ambiente de lulo. Se conocen trabajos relacionados con mejoramiento genético de la

especie tales como: caracterización molecular del gen de polifenolperoxidasa en lulo (Arias D. et al, 2013), caracterización de la diversidad genética de lulo en el departamento de Boyaca (Morillo A. et al, 2017), Filogenia de lulo, tomate de árbol y sus parientes silvestres (Bedoya O. et al, 2009), desarrollo de la variedad "La Selva" (CORPOICA "La Selva, 1998) y evaluación del Comportamiento de familias de medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam bajo selección recurrente (Lagos T. et al, 2015). Por lo anterior, es necesario evaluar y seleccionar genotipos mejorados que muestren tolerancia o resistencia y respondan positivamente a los problemas antes mencionados. Además, los estudios de interacción genotipo-ambiente merecen gran importancia en la evaluación de cultivares desarrollados para diferentes ambientes de producción, las diferencias entre ambientes y años pueden cambiar la magnitud de la respuesta relativa de los cultivares a ambientes contrastantes (Cordova H. 1991).

Capítulo 1. Evaluación de familias de medios hermanos de lulo de castilla *Solanum quitoense* Lam.

1.1 Resumen

El lulo (*Solanum quitoense* Lam) es una especie frutal de importancia para el desarrollo de la fruticultura de la región natural Andina de Colombia. Sin embargo, su cultivo presenta un bajo desarrollo tecnológico, debido posiblemente a la escasa oferta de cultivares mejorados que, respondan a los limitantes abióticos y bióticos que se presentan en los sistemas productivos de Colombia. Acorde con lo anterior, el objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico del rendimiento y calidad de fruto de 50 familias de medios hermanos (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño, Colombia. Se utilizó el diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron rendimiento (RTO), pérdida de frutos por *Neoleucinodes elegantalis*, peso de fruto (PF), diámetro ecuatorial y polar, contenido de jugo (CJ), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AC), índice de madurez (IM), pH, peso de pulpa más semilla (PPS) y peso de semilla (PS). Debido a la significancia en la interacción de Localidad por FMH, se aplicó un índice de selección a cada ambiente y reporto que las familias de mejor comportamiento correspondieron a FMH22 y FMH45 para el municipio de Arboleda, FMH1, FMH7 y FMH25 para el municipio de San Pedro de Cartago y FMH28, FMH4, FMH36, FMH29 y FMH49 en el municipio de Tangua.

Las cuales presentaron rendimientos entre 6,20 a 15,81t.ha⁻¹, un PF entre 53,80 a 90,46g y SST entre 9,11 a 11,70°Bx. Estos valores superaron a los promedios de la población evaluada en un 85,71% para RTO, para PF en 11.24% y para SST en 7,77%.

Palabras clave: fruticultura, comportamiento, selección, rendimiento, peso de fruto.

1.2 Abstract

The lulo (*Solanum quitoense* Lam) is a fruit species of importance for the development of fruit growing in the natural Andean region of Colombia. However, its cultivation presents a low technological development, possibly due to the little supply of improved crops that responds to the abiotic and biotic limitations that occur in the productive systems of Colombia. In accordance with the above, the objective was to evaluate the agronomic behavior of the yield and fruit quality of 50 half-sibling families (FMH) in four locations in the department of Nariño, Colombia. The Randomized Complete Block design with three replications was acquired. The variables evaluated were yield (RTO), loss of fruits by *Neoleucinodes elegantalis* (PNEO), fruit weight (PF), equatorial and polar diameter, juice content (CJ), total soluble solids (SST), titratable acidity (AC), index of maturity (IM), pH, weight of pulp plus seed (PPS) and weight of seed (PS). Due to the significance in the interaction of Location by FMH, a selection index was applied to each environment and reported that the families with the best behavior corresponded to FMH22 and FMH45 for Arboleda, FMH1, FMH7 and FMH25 for San Pedro de Cartago and FMH28, FMH4, FMH36, FMH29 and FMH49 for Tangua. Which presented yields between 6.20 to 15.81t.ha⁻¹, a PF between 53.80 to 90.46g and SST between 9.11 to 11.70°Bx. These exceeded the average values of the population evaluated in 85.71% for RTO, for PF in 11.24% and for SST in 7.77%.

Key words: Fruit growing, behavior, selection, yield, fruit weight.

1.3 Introducción

El lulo, *Solanum quitoense* Lam. es un frutal con un alto potencial productivo y ha sido catalogado desde muchos años atrás como un cultivo promisorio a nivel nacional debido a sus propiedades organolépticas. “En diferentes zonas de la cordillera Andina Colombiana, existen condiciones agroambientales óptimas para el desarrollo del cultivo, no obstante, este frutal aún se encuentra en proceso de domesticación y no se ha hecho uso de su variabilidad y biodiversidad.

Por lo tanto, los productores se han enfrentado a diferentes problemas de campo, entre ellos, los fitosanitarios que disminuyen el potencial productivo y generan un incremento en los costos de producción” (Medina C. et al., 2009).

En el departamento de Nariño, se presentan problemas fitosanitarios como nemátodos (*Meloidogyne* spp.), hongos (*Fusarium oxysporum*, *Phytophthora infestans*) e insectos (*Neoleucinodes elegantalis*), los cuales han causado pérdidas económicas que van desde el 50 hasta el 90% en cultivos comerciales (Lagos et al., 2015; Ochoa V. et al., 2016). Esto ha generado una baja sostenibilidad del cultivo, una disminución del potencial de rendimiento y deserción por parte de productores.

Una opción ante la problemática planteada es implementar estrategias de mejoramiento genético orientadas a la obtención de cultivares mejorados con tolerancia a los factores bióticos mencionados, con alto rendimiento y que busquen aprovechar de manera eficiente la variabilidad genética de las colecciones de trabajo, tal como la selección familiar de medios hermanos en plantas alógamas (Peña-Lomelí et al., 2013)

En Colombia, los trabajos de investigación en mejoramiento genético en lulo son escasos. Se destaca la obtención del cultivar de lulo La Selva obtenido por CORPOICA (actualmente AGROSAVIA) en 1998. Según Medina C. et al. (2009) se ha reportado resistencia al nemátodo *Meloidogyne incognita* en materiales genéticos derivados de hibridación interespecífica entre *S. hirtum* y *S. quitoense*, al igual que en los clones que conforman el cultivar La Selva.

Por otro lado, la investigación en el cultivo de lulo ha girado en torno a estudios de filogenia de lulo y sus parientes silvestres (Bedoya et al., 2009), “caracterización morfológica de 39 genotipos de la colección de lulo (*S. quitoense* Lam.) de la Universidad de Nariño” (Riascos et al., 2012), “caracterización molecular del gen de polifenolperoxidasa en lulo” (Arias et al., 2012), “comportamiento agronómico de injertos de lulo de castilla *S. quitoense* Lam. en patrones de *Solanum* spp” 2011, (Ordóñez et al., 2012), “caracterización de la diversidad genética de lulo en el departamento de Boyaca” (Coronado et al., 2017), “crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia)” (Ochoa V. et al., 2016) y “reacción de genotipos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a *Meloidogyne* spp”. (Salazar-González & Betancourth-García, 2017).

Entre los trabajos de mejoramiento genético en lulo de Castilla reportados para Colombia, se destacan el de (Rojas et al., 2010), quienes evaluaron la presencia de enfermedades causadas por hongos en 42 clones de lulo en el municipio de Popayán y el de (Lagos et al., 2015), que estudiaron el comportamiento de 50 familias de medios hermanos. Es necesario aprovechar las colecciones de trabajo que tiene el Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño, y dentro de ellas, identificar materiales genéticos sobresalientes que puedan ser útiles en programas de cruzamientos y selección.

Dentro de los esquemas de selección que existen en mejoramiento, se ha logrado que las poblaciones mejoradas lleguen a ser agronómicamente superiores y así mismo, conservar la variabilidad genética en programas de mejoramiento genético sostenibles. “En este sentido, los esquemas de selección recurrente se han introducido para incrementar la frecuencia de alelos favorables para caracteres de baja heredabilidad” (Coutiño Estrada et al., 2008; Hallauer & Carena, 2012). Estos esquemas tan usuales en cultivos tradicionales como el maíz, la papa, el sorgo, entre otros, son incipientes en especies como el lulo, de ahí que el objetivo de este trabajo fue evaluar 50 familias de medios hermanos (FMH) de lulo de Castilla, con el fin de identificar al menos una FMH sobresaliente por su comportamiento agronómico en cuatro ambientes de clima frío moderado del departamento de Nariño, sur de Colombia. Este trabajo representa un aporte al conocimiento en la especie *Solanum quitoense* y en su consolidación como especie cultivada, dado que, se da información acerca de los parámetros genéticos que

regulan algunas características de importancia agronómica y de calidad y de rendimiento. Además, se sientan las bases para establecer un proceso de selección que será pionero para el mejoramiento genético de la especie en el sur de Colombia. En este sentido, la hipótesis biológica planteada en este trabajo fue la siguiente: en la evaluación del comportamiento agronómico de las 50 FMH existe la posibilidad de encontrar aquellas familias que reúnan el potencial agronómico para las condiciones ambientales de la región natural Andina del departamento de Nariño.

1.4 Materiales y Métodos

Localización. La obtención de las 50 FMH se llevó a cabo en dos localidades del departamento de Nariño. Una en el municipio de Yacuanquer a 01°06'55"LN, 77°24'04"LO y 2708 msnm, y otra, en La Florida localizada a 01°18'06"LN y 77°24'38"LO y 2089 msnm. La fase de evaluación y selección de las FMH se realizó en los municipios de San Pedro de Cartago ubicado a 01°33'03"LN, 77°07'08"LO y 1750 msnm, Tangua a 01°05'42"LN, 77°23'39"LO y 2000 msnm, Arboleda a 05°35'00"LN, 75°09'00"LO y 2100 msnm y La Unión a 01°36'18"LN y 77°08'01"LO y 1726 msnm. Todos los municipios anteriores se encuentran en la región alto Andina del departamento de Nariño. En la Tabla 1, se observan las principales características climáticas y algunos elementos de los análisis de suelos de cada una de las localidades, los cuales fueron efectuados por el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño:

Tabla 1-1: Características climáticas y de suelo de las localidades donde se establecieron los ensayos experimentales

Localidad	Temperatura	Precipitación media anual (mm)	Humedad	Suelo		
				BS	Fertilidad	Textura
Yacuanquer	19°	900	83%	4	Alto	F
La Florida	14°	1216	83%	4	Medio	Ar-A
San Pedro de Cartago	16.2°	2149	93%	8.1	Alto	Ar
La Unión	19°	1216	83%	4.9	Medio	F-Ar-A
Tangua	18°	1683	79%	4	Medio	Ar

				9.0		
Arboleda	15.9°	2551	80%	9	Alto	F-Ar-A

Familias de medios hermanos (FMH). El grupo de investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA) de la Universidad de Nariño, introdujo en el año 2008 semillas de plantas sobrevivientes de un cultivo de lulo de Castilla afectado por el hongo *Fusarium* sp. en el Centro de Investigaciones La Selva Agrosavia, Antioquia.

En el semestre A del año 2013, dicha semilla se sembró en los municipios de la Florida y Yacuanquer, departamento de Nariño y bajo un esquema de selección estratificada, se escogieron 50 plantas por su estado sanitario, vigor y con un número de racimos por planta superior a 20 (Ardila et al., 2015). De cada una de estas plantas se tomó un fruto y se extrajo la semilla. La semilla de cada fruto se identificó como una FMH, conformando así las 50 FMH.

Evaluación y selección de las 50 FMH de Lulo. En los municipios antes mencionados se establecieron cuatro ensayos para evaluar el desempeño agronómico de las 50 FMH. Se utilizó el diseño de Bloques Completos al Azar con las 50 FMH como tratamientos y tres repeticiones. Cada parcela experimental estuvo constituida por un surco de 8 m de largo. En él se sembraron cuatro plantas con distancia entre ellas de 2,5 m. La separación entre surcos (parcelas) fue de 3 m. El área de la parcela experimental fue de 60 m² y la superficie de la parcela útil de 22,5 m², que correspondieron a tres plantas centrales, sobre las cuales se realizaron las evaluaciones.

Variables evaluadas. Una vez las plantas llegaron a la fase productiva, se registraron las variables: 1) Eje polar del fruto (DP) y eje ecuatorial del fruto (DE), las cuales corresponden al promedio en mm de 12 frutos maduros de la segunda cosecha, 2) peso del fruto (PF) en gramos de 12 frutos de la segunda cosecha, 3) rendimiento (RTO) el cual se determinó en t.ha⁻¹ con base en la producción de la parcela útil, 4) pérdida de frutos por *Neoleucinodes elegantalis* (PNEO) tomada mediante el conteo de frutos afectados con perforaciones causadas por las larvas y expresada en porcentaje. En postcosecha, teniendo en consideración el promedio de 12 frutos maduros, 5) contenido de jugo (CJ) tomada en ml de cada fruto evaluado en laboratorio, 6) peso de pulpa más semilla (PPS) expresado en g a partir de la extracción manual de la pulpa en laboratorio, 7) pH se determinó a través de un pH-metro LabNet, 8) acidez titulable (AC) a través del método de titulación potenciométrica, 9) sólidos solubles totales (SST) se obtuvieron con el método refractométrico. El valor de SST fue corregido por la acidez titulable mediante

la ecuación $SST_c = 0,194 \times AC + SST$, donde SST_c = SST corregidos y 11) índice de madurez (IM), que es igual a la relación entre los SST_{cor} y la acidez titulable.

Análisis estadístico. Para cada una de las variables evaluadas, se realizó el Análisis de Varianza combinado (ANDEVA), bajo un modelo mixto donde las 50 FMH se consideran de efecto fijo y las localidades como efecto aleatorio. Cuando la interacción de las familias por ambiente (Lx FMH) fue significativa, el análisis se hizo con base en el comportamiento de las FMH en cada una de las localidades. En el caso que la interacción Lx FMH no era significativa, se procedía a comprobar la hipótesis nula para la igualdad de los efectos simples localidades y FMH.

En las variables donde la prueba de hipótesis permitió rechazar la hipótesis nula, se establecieron las diferencias entre las FMH teniendo en cuenta lo planteado por (Antuna-Grijalva et al., 2022), quienes establecen “que los valores superiores de una característica en particular son los que superan a la media general más una vez el error estándar ($\mu + \sigma$) o dos veces su correspondiente error estándar ($\mu + 2\sigma$). En el caso de variables no deseables como el peso de semilla por fruto y pérdida por *N. elegantalis*, los materiales genéticos más sobresalientes fueron aquellos que estuvieron por debajo de $\mu - \sigma$ o $\mu - 2\sigma$ ”. Igualmente, todas las variables se sometieron al Análisis de Correlación simples de Pearson.

Para no afectar en forma drástica la disminución de la variabilidad genética, se utilizó una presión de selección moderada del 20%, debido a que si se hace una fuerte presión de selección habrá una buena respuesta, pero la población tenderá a la homocigosis rápidamente; para los genes que afectan el carácter en consideración. “Una desventaja teórica de una fuerte selección, es que algunos genes potenciales valiosos pueden ser excluidos por casualidad. La pérdida de tales genes reduciría automáticamente la respuesta potencial a la selección continua. Por lo tanto, una presión de selección no tan drástica daría una respuesta inicial más lenta, pero en última instancia una mayor respuesta total” (Rumball & Rae, 1968).

Con base en las medias obtenidas dentro y a través de localidades, se escogieron las FMH que obtuvieron los mayores valores de índice de selección (IS) dentro de cada localidad, el cual se estructuró con las variables rendimiento (RTO), peso de fruto (PF),

sólidos solubles totales corregidos (SSTc), el índice de madurez (IM), el contenido de jugo (CJ) y pérdida por *Neuleucinodes elegantalis* (PNEO). Estas variables son de alto valor en los componentes de la calidad del fruto y definen el valor económico de la fruta. Acorde con la metodología de (Lagos et al., 2015), el primer paso para calcular el IS es estandarizar (E) los valores de cada una de las variables que componen el IS, mediante las siguientes ecuaciones:

$$E = \frac{(X_i - \mu)}{\sigma}; \sigma^2 = \frac{(X_i - \mu)^2}{2}; \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (1.1)$$

Dónde: X_i = observación individual, μ = promedio general de cada variable, σ^2 = varianza, σ = desviación estándar de la variable, μ = media poblacional y N = total de observaciones.

Por lo tanto, el IS aplicado fue el siguiente:

$$IS = (RTO \times 0,5) + (PF \times 0,3) + (SSTc \times 0,3) + (IM \times 0,1) + (CJ \times 0,2) - (PNEO \times 4) \quad (1.2)$$

1.5 Resultados y Discusión

El ANDEVA combinado (Tabla 2) mostró diferencias significativas en localidades para todas las variables evaluadas, en FMH para las variables PF, CJ, SST, AC, IM, PPS Y RTO ($p < 0,05$). La interacción Localidad (LOC) x FMH fue significativa para PF, CJ, SST, AC, IM Y RTO ($p < 0,05$). En cuanto a los coeficientes de variación fenotípica (CVF) y genotípica (CVG), se categorizaron como bajos (0-10%), medios (10-20%) y altos (>20%) (Abebe et al., 2017). Sin embargo, (Dos Santos et al., 2018) indican que los CVG por encima de 7% son considerados altos para efecto de mejorar genéticamente los caracteres de importancia agronómica. Los CVF para las variables SST, AC y pH se consideran bajos y variaron entre 4,71 y 8,88%. Para las variables PF, EP, DE, IM y RTO los CVF fueron moderados, con un rango entre 12,82 (RTO) y 19,90% (PF). Las demás variables presentaron CVF altos, los cuales oscilaron 24,97% para CJ y 56,44% para PNEO.

Tabla 1-2: Cuadrados medios del ANDEVA para 12 variables evaluadas en 50 FMH de *S. quitoense* a través de cuatro localidades de la región natural Andina del departamento de Nariño.

FV	GL	PNEO	PF	EP	DE	CJ	SSTc
LOC	3	40085,93*	15455,74*	9,85*	18,67*	17693,85*	111,20*
REP(Loc)	8	244,55	307,86	1,20*	1,46*	938,95*	0,52*
FMH	49	121,01	458,52*	0,45	0,55	513,14*	2,39*
LOC X FMH	141	167,50	274,12*	0,51	0,64	520,90*	1,34*
ERROR	321	139,66	208,15	0,49	0,61	370,91	0,24
μg		20,94	72,51	4,57	5,02	77,14	9,83
CVF %		56,44	19,90	15,27	15,50	24,97	4,97
CVG %		NE	5,41	NE	NE	NE	3,01
FV	GL	AC	IM	PH	PPS	PS	RTO
LOC	3	3,31*	6,20*	0,80*	10570,89*	394,27*	577,92*
REP(Loc)	8	0,08	0,08	0,06*	160,50	18,67	2,14*
FMH	49	0,14*	0,24*	0,03	253,81*	17,24	11,81*
LOC X FMH	141	0,16*	0,20*	0,03	153,26	14,55	11,33*
ERROR	321	0,09	0,09	0,03	146,80	13,74	0,52
μg		3,41	2,90	3,56	46,46	7,40	5,60
CVF %		8,88	10,48	4,71	26,08	50,09	12,82
CVG %		NE	2,07	NE	6,23	6,40	3,56

CVF = coeficiente de variación fenotípica (%); CVG = Coeficiente de variación genético; μg = media general; * = significativo a un $\alpha = 0,05$; perdida por *Neoleucinodes elegantalis* (PNEO); peso de fruto (PF); eje polar (EP); diámetro ecuatorial (DE); contenido de jugo (CJ); solidos solubles totales corregidos (SSTc); acidez titulable (AC); índice de madurez (IM); pH del jugo; peso de pulpa más semilla (PPS); peso de semilla (PS) y rendimiento (RTO).

La variabilidad genética puede ser confirmada y cuantificada por los CVG que son una medida de la magnitud de la variación genética (Acacia et al., 1991). En PNEO, EP, DE, CJ, AC y pH no fue posible calcular este coeficiente, debido a que la varianza genética fue negativa, por lo tanto, se considera nula y puede asumirse con valor cero (Hallauer et al., 2010) En PF, SST, IM, PPS, PS y RTO los CVG oscilaron entre 2,07% para IM y

6,40% para PPS, los cuales pueden considerarse de bajos a moderados y que es necesario conservar y ampliar la variabilidad genética de la población estudiada para dichos caracteres.

Acorde con el Análisis de Correlación de Pearson (Tabla 3), se presentaron correlaciones (r) positivas significativas entre PF y las variables PPS ($r=0,86^*$), EP ($r=0,52^*$), DE ($r=0,51^*$) y CJ ($r=0,58^*$). Esto demostró que existe una relación directa entre estas variables, por lo tanto, es posible mejorar el PF si se direcciona la selección con base en cualquiera de los componentes del fruto de lulo citados (Gabriel et al., 2016).

Tabla 1-3: Análisis de Correlación de Pearson para diez variables evaluadas en 50 FMH a través de cuatro localidades de la región natural Andina del departamento de Nariño.

Variable	PNEO	RTO	PF	EP	DE	IM	PPS	CJ
PNEO	1,00	-0,5*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PF			1,00	0,52*	0,51*	ns	0,86**	0,58*
EP				1,00	0,97**	ns	ns	ns
DE					1,00	ns	ns	ns
SSTc						0,63*	ns	ns
AC						-0,59*	ns	ns
IM						1,00	ns	ns
PPS							1,00	0,58*

* = significancia con $\alpha < 0,05$; ** = significancia con $\alpha < 0,01$; ns = no significativo; perdidas por *Neoleucinodes elegantalis* (PNEO); rendimiento (RTO); peso de fruto (PF); eje polar (EP); diámetro ecuatorial (DE) del fruto; solidos solubles totales corregidos (SSTc); acidez titulable (AC); índice de madurez (IM); peso de pulpa más semilla (PPS) y contenido de jugo (CJ).

Los SSTc están correlacionados de manera significativa con el IM ($r=0,63^*$) y a su vez, el IM presentó una correlación significativa negativa con la AC ($r=0,59^*$), es decir, que a medida que aumenta el valor de AC disminuye el IM (Tabla 3). (Forero et al., 2016) determinaron que los SST están directamente relacionados con el grado de maduración del fruto y el contenido de ácidos orgánicos del mismo. Tanto los SST, el IM y la AC son

útiles al momento de determinar el punto óptimo de cosecha dependiendo el mercado de distribución.

Como se puede observar en la Tabla 3, entre el IM y la AC se presentó una correlación significativa negativa ($r = -0.59^*$). Según Almanza-Merchán et al. (2016), esta relación se da por la degradación de los ácidos orgánicos en la respiración cuando ocurre el proceso de maduración que reduce la acidez “debido a la actividad de las hidrogenasas ya que los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos respiratorios para la síntesis de nuevos componentes durante la maduración”.

Teniendo en cuenta, que se presentaron valores altos y significativos de correlación; en este trabajo, solo se discutirán las variables SST, IM, CJ, PF y RTO, en las cuales el ANDEVA combinado (Tabla 2) mostró un efecto de interacción LxFMH significativa. La interacción LxFMH significativa, demostró una relación directa entre las diferencias ambientales y las diferencias de las FMH para estas variables (Hernández-Bautista et al., 2014). En estos casos, es necesario analizar el comportamiento de las FMH evaluadas en cada una de las localidades, debido a la respuesta diferencial de los caracteres evaluados en los diferentes ambientes tal como lo describen (Nduwumuremyi et al., 2017; Pistorale et al., 2008; Sharifi et al., 2017).

En las Tablas 4 y 5, se encuentran las FMH con los mejores promedios del RTO, PF, SSTc, CJ e IM, evaluadas en las localidades de Arboleda, San Pedro de Cartago y Tangua. Conviene subrayar, que el municipio de la Unión no fue un ambiente favorable para el potencial productivo y de postcosecha de las FMH evaluadas, de modo que los resultados de las variables en este municipio no se discutirán.

Tabla 1.4: Promedios de las cinco mejores FMH para el rendimiento en t/ha (RTO), peso de fruto en g (PF), solidos solubles totales corregidos en °Brix (SSTc), contenido de jugo por fruto en ml (CJ) e índice de madurez (IM) obtenidas en las localidades de Arboleda y Cartago (Nariño).

Localidad	FMH	RTO	FMH	PF	FMH	SSTc	FMH	CJ	FMH	IM
Arboleda	34	9,33*	49	88,74**	15	9,92**	49	99,57**	15	3,54**
Arboleda	20	9,25*	15	76,73*	23	9,76*	2	99,18**	23	3,38**
Arboleda	35	8,85*	6	75,33*	28	9,75*	3	89,57*	22	3,31*
Arboleda	28	8,76*	35	75,19*	18	9,57*	21	89,57*	49	3,21*
Arboleda	44	8,42*	29	72,98*	22	9,39*	16	86,69*	43	3,19*
MFS		8,92		77,79		9,68		92,91		3,33
Media (M)		6,37		60,49		8,97		65,12		2,86
DE		1,61		9,95		0,40		12,94		0,25
$\mu+\sigma$		7,98		70,44		9,37		78,06		3,10
$\mu+2\sigma$		9,59		80,40		9,78		91,00		3,35
Cartago	1	15,81**	10	101,95**	4	10,11*	31	99,58*	38	3,58*
Cartago	9	13,59**	27	100,46**	14	10,0*	30	99,17*	14	2,95*
Cartago	7	13,52*	17	94,92*	18	9,91*	14	97,92*	16	2,95*
Cartago	6	13,34*	14	94,67*	3	9,75*	34	97,50*	48	2,93*
Cartago	25	13,02*	31	93,79*	27	9,74*	17	95,00*	47	2,86ns
MFS		13,86		97,16		9,90		97,83		3,05
Media (M)		6,76		76,30		9,10		74,73		2,63
DE		3,41		14,07		0,61		13,91		0,25
$\mu+\sigma$		10,17		90,37		9,72		88,64		2,88
$\mu+2\sigma$		13,58		104,45		10,33		102,55		3,12

* = Diferencias significativas al $\alpha = 0,05$; ** = Diferencias significativas al $\alpha = 0,01$; ns = no hay diferencias significativas; σ = desviación estándar; MFS = media de fracción seleccionada.

Tabla 1-5: Promedios de las cinco mejores FMH para rendimiento en t/ha (RTO), peso de fruto en g (PF), solidos solubles totales corregidos en °Brix (SSTc), contenido de jugo por fruto en ml (CJ) e índice de madurez (IM) obtenidas en la localidad de Tangua (Nariño).

Localidad	FMH	RTO	FMH	PF	FMH	SSTc	FMH	CJ	FMH	IM
Tangua	28	10,78**	30	99,27*	15	12,31**	13	178,75**	2	4,12**
Tangua	4	9,47**	34	95,15*	2	12,23**	11	105,83ns	36	3,98**
Tangua	39	8,19*	7	95,04*	20	12,08*	7	103,33ns	3	3,49*
Tangua	19	8,08*	10	94,05*	14	12,07*	32	102,50ns	32	3,47*
Tangua	45	8,00*	11	93,60*	11	11,76*	25	102,04ns	4	3,43*
MFS		8,90		95,42		12,09		118,49		3,70
Media (M)		6,30		83,50		10,60		91,26		3,06
DE		1,52		7,95		0,76		14,83		0,32
$\mu+\sigma$		7,82		91,45		11,36		106,09		3,37
$\mu+2\sigma$		9,34		99,40		12,12		120,91		3,69

* = Diferencias significativas al $\alpha = 0,05$; ** = Diferencias significativas al $\alpha = 0,01$; ns = no hay diferencias significativas; σ = desviación estándar; MFS = media de fracción seleccionada.

Rendimiento (RTO). En la Tabla 4 se observó que para el carácter rendimiento, en la localidad de Arboleda sobresalen las familias FMH34 (9,33 t.ha⁻¹), FMH20 (9,25 t.ha⁻¹), FMH35 (8,85 t.ha⁻¹), FMH28 (8,76 t.ha⁻¹), FMH44 (8,42 t.ha⁻¹), con una media para esta localidad fue de $6,37 \pm 1,61$ t.ha⁻¹.

San Pedro de Cartago (Tabla 4) presenta los mayores rendimientos con respecto a las demás localidades. Se destacaron las familias FMH1 (15,81 t.ha⁻¹), FMH9 (13,59 t.ha⁻¹), FMH7 (13,52 t.ha⁻¹), FMH6 (13,34 t.ha⁻¹) y FMH25 (13,02 t.ha⁻¹). Estas familias presentaron diferencias significativas con el resto de la población, dado que superaron la $\mu+\sigma$. Además, obtuvieron rendimientos superiores al promedio nacional que corresponde a 9,45 t ha⁻¹ (Agronet, 2019).

Lo anterior, demostró el gran potencial que tienen estas familias evaluadas para esta localidad, al igual que en Tangua (Tabla 5) donde las familias FMH28 (10,78 t.ha⁻¹),

FMH4 (9,47 t.ha⁻¹), FMH39 (8,19 t.ha⁻¹), FMH19 (8,08 t.ha⁻¹) y FMH45 (8,00 t.ha⁻¹), superaron la $\mu+2\sigma$ y el promedio nacional.

El rendimiento de lulo responde positivamente a la fertilización química y orgánica, sin embargo, el rendimiento potencial alcanza las 30 t.ha⁻¹.

En los principales países productores de lulo, los rendimientos no sobrepasan las 8,5 t.ha⁻¹ debido a las limitantes de carácter técnico que tienen que ver con el manejo agronómico, falencia en la selección de materiales mejorados, plagas, enfermedades, nutrición, falta de soporte en los procesos sistémicos de investigación y conocimiento del funcionamiento eco fisiológico de la especie (Gómez et al., 2013)

Variables postcosecha. Los frutos de las FMH fueron cosechados en un estado de madurez 4 según la NTC 5093 (ICONTEC, 2002); ya que Casierra y Aguilar (2008), reportan que este estado de maduración es óptimo para la evaluación de las variables que determinan la calidad, comparados con la evaluación de frutos en grado 5, que equivale a la maduración de consumo.

En Arboleda (Tabla 4), los mayores valores de SSTc se registraron para la FMH15 (9,92) que superó la $\mu+2\sigma$ y FMH23 (9,76), FMH28 (9,75), FMH18 (9,57) y FMH22 (9,39) que superaron la $\mu+\sigma$ (9,37). En la localidad de Cartago (Tabla 4), las FMH fueron FMH4 (10,11), FMH14 (10,00), FMH18 (9,91), FMH3 (9,75) y FMH27 (9,74) que superaron la $\mu+\sigma$ (9,72). En comparación con las localidades anteriormente descritas, Tangua con 10,60 de SSTc favoreció el incremento de esta variable para las FMH, como se observó en la Tabla 5.

En Tangua (Tabla 5), los valores altos de SSTc fueron 12,31 (FMH15), 12,23 (FMH2), 12,08 (FMH20), 12,07 (FMH14) y 11,76 (FMH11). Estos valores están por encima de los reportados que corresponden a 8,24°Brix (Silva et al., 1993), 9,04°Brix C (González Loaiza et al., 2014), 10,18°Brix (Ochoa V. et al., 2016) y 7,6°Brix (Almanza-Merchán et al., 2016).

El incremento de los SST está dado por la hidrólisis del almidón y de los polisacáridos de la pared celular, generan azúcares solubles tales como glucosa, fructosa y sacarosa incidiendo de manera ascendente en el contenido de sólidos solubles y azúcares. La importancia de la acumulación de azúcares está relacionada con la calidad del fruto en su forma consumible (Ochoa V. et al., 2016)

Hay que mencionar, además que los SST aumentan a medida que transcurre el proceso de maduración (Almanza-Merchán et al., 2016). Este proceso no está relacionado con el pH. Casierra y Aguilar (2008) afirman que “durante el periodo de maduración del lulo, el valor del pH es similar y oscila entre 2,9 y 3,2 entre el primero y el séptimo día de cosecha. Además, se ha establecido que el valor del pH en jugo no debe ser tomado como una medida para establecer la madurez de los frutos”.

Se encontró que los valores del IM (Tablas 4 y 5) en Arboleda, Cartago y Tangua para FMH15, FMH23, FMH22, FMH49, FMH38, FMH14, FMH16, FMH48, FMH47, FMH36, FMH3, FMH32 y FMH4 oscilan entre 2,93 a 3,98. La FMH2 presenta el mayor IM con un valor de 4,12 en la localidad de Tangua. Este IM está relacionado con el contenido de Vitamina C y el grado de madurez de los frutos, debido a que a mayor IM menor acidez, mayor contenido de azúcares e incremento de vitamina C (González Loaiza et al., 2014)

En cuanto al CJ, Arboleda (Tabla 4) presenta una media de $65,12 \pm 12,94$ ml/fruto, Cartago $74,73 \pm 13,91$ ml/fruto y Tangua $91,26 \pm 14,83$ ml/fruto. Las familias de mejor comportamiento para esta característica fueron FMH49 (99,57 ml/fruto), FMH2 (99,18 ml/fruto), FMH3 (89,57 ml/fruto), FMH21 (89,57 ml/fruto) y FMH16 (86,69 ml/fruto) en Arboleda. En Cartago sobresalen FMH31 (99,58 ml/fruto), FMH30 (99,17 ml/fruto), FMH14 (97,92 ml/fruto), FMH34 (97,50/fruto) y FMH17 (95,00 ml/fruto). En Tangua (Tabla 5) se presentaron los mejores promedios para ésta variable si se compara con las demás localidades. Se destacó en Tangua la FMH13 con 178,75 ml/fruto.

González et al. (2014) concluyeron que los altos valores de CJ, SST, IM y Vitamina C están relacionados con el alto potencial de tipo industrial y la calidad organoléptica y nutritiva del fruto de lulo; de ahí la importancia de orientar los trabajos de investigación hacia el mejoramiento de las mismas.

En la Tabla 6, se observan las medias de las variables del índice de selección (IS) de la fracción seleccionada (20%) de las 50 FMH de lulo de Castilla. Entre las familias que presentaron IS positivos, se destacaron FMH1, FMH4, FMH7, FMH22, FMH25, FMH28, FMH29, FMH36, FMH45 Y FMH49.

Tabla 1.6: Promedio de las variables de la fracción seleccionada (20%) acorde con el índice de selección aplicado a 50 FMH de lulo evaluadas en cuatro localidades del departamento de Nariño

Localidad	FMH	RTO	PF	SST	IM	CJ	PNEO	IS
ARBOLEDA	22	8,00	53,80	9,39	3,31	67,08	15,15	1,21
ARBOLEDA	45	7,68	60,87	9,15	3,15	61,62	19,02	1,12
CARTAGO	1	15,81	77,26	9,25	2,77	80,00	11,06	1,60
CARTAGO	7	13,52	81,56	9,32	2,74	74,74	8,14	1,53
CARTAGO	25	13,02	82,11	9,11	2,49	78,75	6,93	1,43
TANGUA	28	10,78	81,43	11,37	2,93	84,10	2,77	1,92
TANGUA	4	9,47	82,92	11,31	3,43	96,77	4,24	1,74
TANGUA	36	7,28	90,46	11,49	3,98	77,83	0,00	1,61
TANGUA	29	6,86	82,48	11,70	3,13	96,67	5,09	0,85
TANGUA	49	6,20	84,48	10,54	3,29	87,50	5,05	0,91
Localidad	FMH	RTO	PF	SST	IM	CJ	PNEO	
\bar{Y}_s		9,86	77,74	10,26	3,12	80,51	7,74	
μ_g		5,32	69,90	9,52	2,82	74,39	20,77	
DS		4,54	7,84	0,74	0,31	6,11	-13,02	

\bar{Y}_s = media de la fracción seleccionada; μ_g = media general de las 50 FMH; DS = diferencial de selección ($\bar{Y}_s - \mu_g$).

El RTO de la fracción seleccionada (\bar{Y}_s) fue de 9,86 t.ha⁻¹, mientras que la media general fue de 5,32 t.ha⁻¹, por lo tanto, el diferencial de selección (DS) fue de 4,54 t.ha⁻¹, se obtuvo una ganancia del 85,33% en esta variable. El valor máximo entre los genotipos seleccionados correspondió a FMH1 con 15,81 t.ha⁻¹. Estos resultados muestran las posibilidades de avanzar en las ganancias genéticas del RTO de esta población, lo cual concuerda con Vallejo y Estrada (2002), quienes afirman que el mejoramiento

poblacional consiste en estudiar el material básico, su composición y estructura genética, con miras a incrementar el progreso en la selección a corto o largo plazo.

Lo anterior permite obtener nuevas poblaciones con mayor RTO después de cada ciclo de selección.

Dicho incremento se debe a que los individuos seleccionados poseen genes superiores, que, al recombinarse al azar, producen genotipos de mayor producción, por lo tanto, se espera que la población sea más productiva en promedio que la anterior (Lagos et al., 2015).

El PF de las FMH seleccionadas oscilo entre 53,80 y 90,46 g. El mayor PF lo obtuvo la familia FMH36 con 90,46 g y el DS fue de 7,98 g que representa una ganancia del 11,21%. Los SSTc oscilan entre 9,11 y 11,70, donde la familia FMH29 mostró el mayor contenido. El DS en los SSTc fue 0,74 que representa una ganancia del 7,77%.

Por último, teniendo en cuenta el promedio de la fracción seleccionada de 7,74%, la PNEO mostro un DS de -13,02% respecto a la población de las 50 FMH. A pesar de no observarse diferencias significativas, las ganancias en la disminución del PNEO fueron del 62,68%, esto puede representar una disminución en los costos de control de la plaga. Estas ganancias pueden mejorarse con prácticas culturales y preventivas como recolección de frutos afectados y/o aplicaciones de controladores (Bernal Estrada et al., 1996; Gómez et al., 2013).

1.6 Conclusiones

Se identificaron familias de medios hermanos de lulo con un comportamiento sobresaliente en cuanto a rendimiento y calidad de fruto que podrían ser usadas en programas de mejoramiento genético como parentales o fuente para entregar un cultivar mejorado.

Las familias FMH1, FMH4, FMH7, FMH22, FMH25, FMH28, FMH29, FMH36, FMH45 Y FMH49 presentaron los mayores valores en el índice de selección. Estas familias mostraron los mejores resultados en cuanto a rendimiento, peso de fruto y solidos

solubles totales corregidos. Igualmente, estas familias permiten reducir los daños del pasador de fruto (*Neolucinodes elegantalis*).

Las familias FMH50, FMH31, FMH22, FMH36, FMH49, FMH15, FMH2, FMH20, FMH14 y FMH11 tienen alto contenido de sólidos solubles totales.

1.7 Bibliografía

- Abebe, T., Alamerew, S., & Tulu, L. (2017). Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and its Related Traits in Rainfed Lowland Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes at Fogera and Pawe, Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000272>
- Acacia, D. E. P. D. E., Grande, R. I. O., Sul, D. O., Souza, S. M. De, Higa, A. R., & Stein, P. P. (1991). *Eng.-Agrônomo, M.Sc., CREA n.*
- Al-Naggar, A. M. M., Shafik, M. M., & Musa, R. Y. M. (2020). *Ammi and Gge Biplot Analyses for Yield Stability of Nineteen Maize Ammi and Gge Biplot Analyses for Yield Stability of Nineteen Maize Genotypes Under Different Nitrogen and Irrigation Levels. October.* <http://www.plantarchives.org/20-2/4431-4443> (6172).pdf
- Alejos, G., Monasterio, P., & Rea, R. (2006). Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(3), 369–384.
- Allard, R. W. (1967). *Principios de la mejora genética de las plantas* (Montoya, J). Omega.
- Almanza-Merchán, P. J., Velandia D., J. D., & Tovar L., Y. P. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 222–231. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- Ana Elizabeth Díaz, M., & Brochero, H. L. (2012). Parasitoides asociados al perforador del fruto de las solanáceas *neolucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(1), 50–57.
- Antuna-Grijalva, O., Rincón-Sánchez, F., Gutiérrez-del Río, E., Ruiz-Torres, N. A., & Bustamante-García, L. (2022). Componentes Genéticos De Caracteres Agronómicos Y De Calidad Fisiológica De Semillas En Líneas De Maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 11. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.1.11>

- Ardila, G. H., Fischer, G., & García, J. C. (2015). La poda de tallos y racimos florales afecta la producción de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 24.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3743>
- Arias, D. G., Doria, C. M. M., Ramos, L. R., & Morocho, H. C. N. (2012). Molecular characterization of the polyphenol oxidase gene in lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Castilla. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24(4), 261–272.
<https://doi.org/10.1590/S1677-04202012000400005>
- Bastidas, J., & Cuaspud, J. (2018). *Comportamiento agronómico de diez familias de medios hermanos de lulo (Solanum quitoense Lam.)* [Universidad de Nariño].
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.12.025%0Ahttp://www.depkes.go.id/resources/download/info-terkini/hasil-risikesdas-2018.pdf%0Ahttp://www.who.int/about/licensing/>
- Bernal Estrada, J. A., Córdoba G, O., Franco, G., Londoño B, M., Rodríguez Osorio, J. E., & Guevara Monroy, N. (1996). *Cultivo del lulo (Solanum quitoense Lam.)*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/21110>
- Bhandari, H. S., Saha, M. C., Mascia, P. N., Fasoula, V. A., & Bouton, J. H. (2010). Variation among half-sib families and heritability for biomass yield and other traits in lowland switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Crop Science*, 50(6), 2355–2363.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0109>
- Bouzerzour, H., & Dekhili, M. (1995). Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Research*, 41(3), 173–178. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00005-B](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00005-B)
- Carvajal, V., Aristizabal, M., & Vallejo, A. (2012). Caracterización del crecimiento del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* SIMS.). *Agron*, 20(1), 77–86.
- Casierra, F., & Aguilar, Ó. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez Quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) harvested at different maturity stages. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 26(2), 300–307.
- Ceballos, N. (2012). *Evaluación agronómica, molecular e interacción genotipo-ambiente de introducciones de tomate tipo cereza* (Vol. 66). UNIVERSIDAD DE CALDAS.
- Cornelius, J. (1994). Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Nucl. Phys.*, 24, 372–379.
- Coronado, A. C. M., Tovar-León, Y. P., & Coronado, Y. M. (2017). Characterization of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) genetic diversity in the department of Boyaca, Colombia.

- Acta Agronomica*, 66(3), 430–435. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.58997>
- Coutiño Estrada, B., Sanchez Grajalez, G., & Vidal Martínez, V. (2008). Selección entre y dentro de familias de hermanos completos de maíz en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2), 115–123.
- Crossa, J., Fox, P. N., Pfeiffer, W. H., Rajaram, S., & Gauch, H. G. (1991). AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics*, 81(1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/BF00226108>
- Cruz, C. (2012). *Principios de genética cuantitativa* (UFV (ed.); Vol. 1). Universidad Federal de Viosa.
- Damba, G. (2008). Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuda (*Manihot esculenta* Crantz) [UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA]. In *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* (Vol. 32, Issue 2). <http://pubs.sciepub.com/wjar/2/5/5/index.html>
- DANE. (2015). El Cultivo del Lulo (*Solanum quitoense*) y los efectos del fenómeno del niño en la producción. In *Boletín mensual de insumos y factores asociados a la producción agropecuaria: Vol. Num 42*.
- DANE. (2022). Comportamiento de los precios. *Sistema de Información de Precios Del Sector Agropecuario (SIPSA)*, 1–50. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/bol_17sep_al_23sep_2022.pdf
- De Oliveira, L. A., Da Silva, C. P., Nuvunga, J. J., Da Silva, A. Q., & Balestre, M. (2015). Credible intervals for scores in the AMMI with random effects for genotype. *Crop Science*, 55(2), 465–476. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.05.0369>
- De Vilela, D. M. . (2002). Genética Biométrica e Estadística no Melhoramento de Plantas Perennes. In *Embrapa Informacao Tecnológica*.
- Dos Santos, W., Aguiar, A. V., Souza, D. C. L., Dini, D. G. T., De Souza, F. B., Dalastra, C., Machado, J. A. R., De Sousa, V. A., De Moraes, M. L. T., Freitas, M. L. M., & Sebbenn, A. M. (2018). Genetic variation and effective population size in *Dipteryx Alata* progenies in Pederneiras, São Paulo, Brazil. *Revista Arvore*, 42(3). <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000300010>
- Erkul, A., Ünay, A., & Konak, C. (2010). Inheritance of yield and yield components in a bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) cross. *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 137–140.
- Falconer, D. S., & Mackay Trudy, F. . (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th

- ed.).
- Fonseca H., M. C., Rodríguez A., J. A., Herrera A., A. O., & Fischer, G. (2013). Caracterización fisicoquímica del fruto de cuque (*Solanum vestissimum* Dunal) durante la maduración. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 31–40. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1276>
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M. (2016). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1), 73–85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Gabriel, J., Angulo, A., Velasco, J., & Guzmán, R. (2016). Adaptación de híbridos de tomate indeterminado [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] bajo condiciones de invernadero TT - Adaptation of indeterminate tomato hybrids [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] under greenhouse conditions. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(2), 47–65. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942016000200003&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2_a03.pdf
- Gauch, H. G., Piepho, H. P., & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*, 48(3), 866–889. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0513>
- Gómez, F., Trejo-Téllez, L. I., García-Albarado, C. J., & V, M.-R. (2013). *Lulo (Solanum quitoense Lamarck .) as a new element of the landscape in Mexico : germination and growth on organic substrates. April 2017, 877–887.*
- González Loaiza, D. I., Ordoñez Santos, L. E., Vanegas Mahecha, P., & Vásquez Amariles, H. D. (2014). Changes in physicochemical properties of the fruit of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) harvested at three degrees of maturity. *Acta Agronomica*, 63(1), 11–17.
- Hallauer, A. R., & Carena, M. J. (2012). Recurrent selection methods to improve germplasm in maize. *Maydica*, 57(3–4), 266–283.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. . (2010). Handbook of Plant Breeding. In *Nucl. Phys.* (second edi, Vol. 13, Issue 1).
- Hernández-Bautista, A., Lobato-Ortiz, R., Cruz-Izquierdo, S., García Zavala, J., & Chavez-Servia, J. (2014). Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruce interespecífica de jitomate. *Interciencia*, 39(5), 327–332.
- Holland, J. B., Nyquist, W. E., & Cervantes-Martínez, C. T. (2010). Estimating and

- Interpreting Heritability for Plant Breeding: An Update. In *Plant Breeding Reviews* (Vol. 22). <https://doi.org/10.1002/9780470650202.ch2>
- Jurado, J., Perez, L., Lagos-Burbano, T. ., & Benavides, C. (2013). Solanum quitoense Lam . ON PATTERNS OF Solanum spp . *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30(1), 54–64.
- Kizilgeci, F., Albayrak, O., Yildirim, M., & Akinci, C. (2019). Stability evaluation of bread wheat genotypes under varying environments by ammi model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9), 6865–6872.
- Kumar, S. R., Arumugam, T., Balakrishnan, S., & Anandakumar, C. R. (2013). Variability in the Segregating Generation of Eggplant for Earliness and Yield. *Nucl. Phys.*, 16(20), 1122–1129. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.1122.1129>
- Lagos, T., Apraez, J., Lagos, L., & Duarte, D. (2015). Comportamiento de 50 familias de medios hermanos de Solanum quitoense Lam bajo selección recurrente. *Temas Agrarios*, 20(2), 19. <https://doi.org/10.21897/rta.v20i2.755>
- Liu, Q., Huang, L., Fu, C., Zhang, T., Ding, W., & Yang, C. (2022). Genotype–environment interaction of crocin in Gardenia jasminoides by AMMI and GGE biplot analysis. *Food Science and Nutrition*, July, 1–8. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3003>
- Lobo Arias, M. (2007). Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 40. https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:68
- Lozano del Río, A., Zamora Villa, V., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-Herrera, S., Cruz Lazaro, E., & de la Rosa-Ibarra, M. (2009). Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo ammi y potencial de producción de triticales forrajeros (x Triticosecale Wittm.). *Universidad y Ciencia*, 25(1), 81–92. <https://doi.org/10.19136/era.a25n1.222>
- MADR. (2018). *Red de información y comunicación del sector agropecuario en Colombia*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>
- Mandel, J. (1971). A new analysis of variance model for non-additive data. *Technometrics*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00401706.1971.10488751>
- Medina C., C. I., Lobo A., M., & Martínez B., 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. https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num2_art:139
- Mekonnen, Z., & Mohammed, H. (2009). Study on genotype x environment interaction of

- yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Phytology*, 1(August), 199–205.
- Mishra, P. K., Ram, R. B., & Kumar, N. (2015). Genetic variability, heritability, and genetic advance in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(3), 451–458. <https://doi.org/10.3906/tar-1408-99>
- Monteiro, P. H., De Siqueira, D. L., Chamhum, L. C., Pereira, D. F., & Cecon, P. R. (2013). Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.), em viçosa-MG. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1), 131–142. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100016>
- Moreno-maldonado, M., Peña-lomelí, A., & Sahagún-castellanos, J. (2002). Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(3), 231–237.
- Muñoz, J., Rodríguez, L., & Bermudez, L. (2013). Análisis de competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 173–185. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Nahak, S. C., Nandi, A., Sahu, G. S., Tripathy, P., Dash, S. K., & Patnaik, A. (2018). Studies on variability, heritability and genetic advance for yield and yield contributing characters in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2506–2510.
- Nduwumuremyi, A., Melis, R., Shanahan, P., & Theodore, A. (2017). Interaction of genotype and environment effects on important traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop Journal*, 5(5), 373–386. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.02.004>
- Nyquist, W. E., & Baker, R. J. (2008). Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(3), 235–322.
- Ochoa V., L. M., Balaguera, H. E., Ardila, G., Pizón, E. hernanado, & Álvarez, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia) in the Municipality of San Antonio del Tequendama (Colombia) Crecimiento e desenvolvimento do fruto de lulo. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera*, 17(3), 347–359.
- Ordóñez, C. U., Gómez, H. O., Ordóñez J., H. R., & Lagos B., T. C. (2012). Evaluación de un sistema de propagación vegetativa mediante esquejes en Lulo silvestre (*Solanum hirtum* Vahl, *S. marginatum* L.f., *S. sessiliflorum* Dun, *S. mammosum* L. y *S. umbellatum* Mill. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 29–41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104107>

- Ortolá, M. (2020). Determinación de la tasa respiratoria de frutas. In *Universidad Politécnica de Valencia*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/145648>
- Oyervides G., A., Mariaca P., J. M., De León C., H., & Reyes V., M. (2016). Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.15517/am.v4i0.25163>
- Parra Coronado, A. (2015). Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 314. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3223>
- Paul, S., Khanuja, S. P. S., Shasany, A. K., Gupta, M. M., Darokar, M. P., Saikia, D., & Gupta, A. K. (2010). Enhancement of artemisinin content through four cycles of recurrent selection with relation to heritability, correlation and molecular marker in *Artemisia annua* L. *Planta Medica*, 76(13), 1468–1472. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1240940>
- Peña-Lomelí, A., Guerrero-Ramos, H., Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., & Magaña-Lira, N. (2013). Selección Temprana en Familias de Medios Hermanos Maternos de Tomate de Cáscara de la Raza Puebla. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 19(1), 5–13. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.18>
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. ., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., Márquez-Sánchez, F., Cervantes-Santana, T., & Santiaguillo-Hernández, J. . (2008). Parámetros genéticos en la variedad chf1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 5–11. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.11.046>
- Piepho, H. P., & Möhring, J. (2007). Computing heritability and selection response from unbalanced plant breeding trials. *Genetics*, 177(3), 1881–1888. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.074229>
- Pistorale, S. M., Abbott, L. A., & Andrés, A. (2008). Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(3), 259–264. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202008000300003>
- Poehlman, J. ., & Sleper, D. A. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas* (2nd ed.).
- Ramírez, F., Kallarackal, J., & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238(April), 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Riascos, M., Santacruz, A., Lagos, T., & 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.
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiUyf6936nvAhUwzlkKHe2SB1QQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5104113.pdf&usg=AOvVaw1d9dPBJuN1pis2juY2fDjV>
- Rodríguez-González, R. E., Ponce-Medina, J. F., Rueda-Puente, E. O., Avendaño-Reyes, L., Paz Hernández, J. J., Santillano-Cazares, J., & Cruz-Villegas, M. (2011). Interacción genotipo - ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 543–558.
- Rojas, C. M., Muñoz, L. A., Terán, V., Prado, F., & Quiñónez, M. A. (2010). Evaluación de patógenos en clones de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Acta Agronómica*, 59(2), 144–154. http://168.176.5.108/index.php/acta_agronomica/article/view/16273/17190
- Rumball, W., & Rae, A. L. (1968). The Effect of Selection Intensity on Selection Response in *Tribolium*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 11(4), 745–756.
<https://doi.org/10.1080/00288233.1968.10422406>
- S. Muniappan, Saravanan, K., & B. Ramya. (2010). Studies on Genetic Divergence and Variability For Certain Economic Characters in Eggplant (*Solanum Melongena* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(4), 462–465.
<http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ejpb&volume=1&issue=4&article=017&type=pdf>
- Salazar-González, C., & Betancourth-García, C. (2017). Reacción de genotipos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a *Meloidogyne* spp. En condiciones de campo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 295–306.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:629
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. (2017). Evaluation of Genotype x Environment Interaction in Rice Based on AMMI Model in Iran. *Rice Science*, 24(3), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Silva-Díaz, R., García-Mendoza, P., Faleiro-Silva, D., & De Souza, C. L. (2018). Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. *Bioagro*, 30(1), 67–77.
- Silva, W., Gómez, P., Viera, W., Sotomayor, A., Viteri, P., & Ron, L. (1993). Selección de líneas promisorias de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) para calidad de fruta.

- ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 3(1), 23–30.
<http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorescalidad/index.php/revista/article/view/27>
- Sohail, A., Rahman, H., Hussain, Q., Hadi, F., Ullah, U., & Khan, W. (2018). Genetic Variability, Heritability and Correlation studies in Half-Sib Recurrent families of CIMMYT Maize population CZP-132011. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 13(April 2019), 106–112.
- Sreelathakumary, I., & Rajamony, L. (2004). Variability, heritability and genetic advance in chilli (*Capsicum annum* L.). *Journal of Tropical Agriculture*, 42(2), 35–37.
- Stommel, J. R., Camp, M. J., Dumm, J. M., Haynes, K. G., Luo, Y., & Schoevaars, A. M. (2016). Heritability of fresh-cut fruit quality attributes in capsicum. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141(4), 308–314.
<https://doi.org/10.21273/jashs.141.4.308>
- Szareski, V. J., Carvalho, I. R., Kehl, K., Levien, A. M., Nardino, M., Demari, G. H., Lautenchleger, F., de Souza, V. Q., Pedó, T., & Aumonde, T. Z. (2017). Univariate, multivariate techniques and mixed models applied to the adaptability and stability of wheat in the Rio Grande do Sul State. *Genetics and Molecular Research*, 16(3).
<https://doi.org/10.4238/gmr16039735>
- Terfa, G. N., & Gurmu, G. N. (2020). Genetic variability, heritability and genetic advance in linseed (*Linum usitatissimum* L) genotypes for seed yield and other agronomic traits. *Oil Crop Science*, 5(3), 156–160. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.08.002>
- Vallejo, F., & Estrada, E. (2002). *Mejoramiento Genético de plantas* (U. N. de Colombia (ed.); Vol. 1, Issue 1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Verma, A., Kumar, V., Kharab, A. S., & Singh, G. P. (2019). AMMI Model to Estimate GxE for Grain Yield of Dual Purpose Barley Genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(05), 1–7.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.805.001>
- Villanueva Verduzco, C., Ayala Esteban, J. A., Villanueva-Sánchez, E., Sahún Castellanos, J., Sánchez Cabrera, I., Chaning Merrick, L., & Irizar Garza, M. B. G. (2020). Changes of genetic variances and heritability by effect of selection in a Mexican local variety of Squash. *J Appl Biotechnol Bioeng*, 7(5), 225–230.
- Wessel-Beaver, L., & Scott, J. W. (2019). Genetic Variability of Fruit Set, Fruit Weight, and Yield in a Tomato Population Grown in Two High-temperature Environments.

Journal of the American Society for Horticultural Science, 117(5), 867–870.

<https://doi.org/10.21273/jashs.117.5.867>

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597–605.

<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>

Capítulo 2. Interacción genotipo por ambiente de genotipos de *Solanum quitoense* Lam. a través del modelo AMMI

2.1 Resumen

Con el fin de identificar y recomendar genotipos deseables y que mejoren la productividad del cultivo de lulo *Solanum quitoense*, se evaluó la interacción genotipo por ambiente para los caracteres Peso de fruto (PF), Rendimiento (RTO), Volumen de fruto (VOL), Índice de Respiración (IR) y Ácido Ascórbico (AA) en 10 FMH de lulo y un testigo comercial conocido como cultivar Castilla, bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones en cuatro municipios del departamento de Nariño. Para analizar la interacción se utilizó un Análisis de Varianza Combinado y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Para la variable RTO, FMH7 y el testigo comercial presentaron adaptación específica en la localidad de Tangua, con rendimientos de 12.82 y 13.41 t.ha⁻¹, respectivamente y PF por encima de los 100g, siendo recomendados para esta localidad. La FMH29 presenta el promedio más alto de rendimiento con 16.14t.ha⁻¹ y un PF de 100.53g bajo las condiciones de Arboleda, donde puede ser considerado como un genotipo de alta productividad y una opción rentable para los agricultores. Las familias FMH49 y 7 se comportaron de manera estable para VOL con promedios de 135.12 y 137.37cm³, respectivamente, RTO por encima de las 9.0t.ha⁻¹ y PF por encima de los 100g, lo que los convierte en genotipos agrónomicamente deseables y que pueden ser usados en cualquiera de los ambientes evaluados. Las FMH 49 y 25 presentan adaptación específica en Arboleda para AA (42.9

y 41.03 mg/100g, respectivamente), con RTO por encima de las 12t.ha⁻¹ y pueden recomendarse para ser utilizados por los productores en esta localidad.

Palabras clave: Adaptación, Ambientes, Lulo, Peso de fruto, Rendimiento.

2.2 Abstract

In order to identify and recommend desirable genotypes that improve the productivity of the lulo *Solanum quitoense* crop, the genotype-environment interaction was evaluated for the characters Fruit weight (PF), Yield (RTO), Fruit volume (VOL), Respiration Index (RI) and Ascorbic Acid (AA) in 10 FMH from lulo and a commercial control known as the Castilla cultivar, under the Randomized Complete Block Design with four replicates in four municipalities of the department of Nariño. To analyze the interaction, a Combined Analysis of Variance and the model of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) were used. For the RTO variable, FMH7 and the commercial control presented specific adaptation in the Tangua locality, with yields of 12.82 and 13.41 t.ha⁻¹, respectively, and FP above 100g, being recommended for this locality. The FMH29 presents the highest yield average with 16.14t.ha⁻¹ and a PF of 100.53g under the conditions of Arboleda, where it can be considered a high productivity genotype and a profitable option for farmers. Families FMH49 and 7 behaved stably for VOL with averages of 135.12 and 137.37cm³, respectively, RTO above 9.0t.ha⁻¹ and PF above 100g, which makes them agronomically desirable genotypes and that can be used in any of the evaluated environments. FMH 49 and 25 show specific adaptation in Arboleda for AA (42.9 and 41.03 mg/100g, respectively), with RTO above 12t.ha⁻¹ and can be recommended for use by producers in this location.

Keywords: Adaptation, Environments, Lulo, Fruit weight, Yield.

2.3 Introducción

El potencial del cultivo de lulo se basa en el sabor ácido y en el exclusivo aroma de este exótico fruto (Ramírez et al., 2018). Caracteres agronómicos como el rendimiento y calidad del fruto de lulo, tienen un comportamiento diferencial en función de las zonas productoras y a través del tiempo. Factores como “la variabilidad genética, los nichos apropiados para su siembra, la aceptación de la fruta por los consumidores, el potencial agroindustrial y ser una alternativa de reconversión de cultivos ilícitos, pueden favorecer su desarrollo” (Medina C. et al., 2009).

Lobo (2007), describe que es una especie con muy poca domesticación y que por lo tanto, debería tener un alto nivel de heterocigosis y tolerar diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, el lulo expresa estabilidad en nichos específicos y adaptabilidad general estrecha. Es por esto que, el Departamento Administrativo Nacional en Estadística (DANE, 2015) afirma que “la respuesta del cultivo del lulo depende de la expresión genética y del ambiente, ya que favorece o limita la expresión del potencial genético; libre de condiciones de estrés contribuye al logro de altos rendimientos y mejores calidades en la producción y en condiciones de estrés biótico manifiestan trastornos fisiológicos en las plantas que reducen la calidad y la producción del cultivo”.

Así que, la obtención de mejores genotipos depende de su estabilidad en diferentes ambientes, y si esta cambia, entonces surge la interacción genotipo por ambiente (IGA) como “respuesta diferencial de los genotipos a la variación ambiental o, a la inversa, cuando un mismo genotipo responde de distinta manera en diversos ambientes” (Lozano del Río et al., 2009). De manera que, la IGA conduce a la reducción de la relación entre los valores fenotípicos y genotípicos y por lo tanto, “es un aspecto a tener en cuenta en los programas de mejoramiento ya que la estabilidad de rendimiento de un genotipo en particular depende de su respuesta a diversos factores adversos en etapas críticas del desarrollo de la planta” (Crossa et al., 1991; Verma et al., 2019).

El Modelo de Efectos Principales Aditivos y Multiplicativos de la Interacción (AMMI) es uno de los métodos estadísticos más usados ya que permite obtener una gran proporción de la suma de cuadrados de la IGA y separa los efectos principales de los efectos

causados por la interacción, de este modo incrementa la precisión y se aseguran las recomendaciones, la selección y las ganancias genéticas de los genotipos (Gauch et al., 2008). Por lo general, los resultados del análisis AMMI se expresan en gráficos llamados biplot; este grafico contiene los valores de los genotipos y los ambientes mediante la técnica de vectores singulares (Szareski et al., 2017). El biplot GGE aprovecha el enfoque del ACP para estudiar los datos de múltiples ambientes y permitir la visualización de la relación entre genotipos, ambientes e interacción. Por consiguiente, el uso del modelo AMMI combina el análisis de varianza (univariante) y los componentes principales (multivariante), para estimar los efectos de los genotipos, los ambientes y la IGA. Adicionalmente, está compuesto por una parte aditiva que incluye a la media general, los efectos genotípicos y ambientales, los efectos residuales compuestos por la proporción multiplicativa del modelo, y luego los términos aditivos y multiplicativos de la IGA (Szareski et al., 2017).

En este sentido la hipótesis que se planteó en este objetivo fue que el ambiente afecta los procesos biológicos de las diferentes FMH de lulo y se refleja por una respuesta diferencial de estas familias a las ofertas ambientales dadas en los sitios de evaluación. Con base en lo anterior, se estimó el efecto de la IGA sobre el rendimiento y calidad de frutos en 10 FMH de lulo seleccionadas y un testigo a través del modelo AMMI, teniendo en cuenta que este modelo ha sido utilizado en cultivos de interés agronómico.

2.4 Materiales y Métodos

Localización. Las localidades empleadas en la prueba evaluación agronómica corresponden a los municipios de Arboleda, San Pedro de Cartago, Tangua y La Unión, las cuales se describen en Tabla 1:

Tabla 2-1: Descripción de las variables climáticas y características del suelo de las localidades

Localidad	T (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Suelo	
				Fertilidad	Textura
San Pedro	18	2396	93	Alto	Ar
La Unión	19	1405	83	Medio	F-Ar-A
Tangua	16	2420	79	Medio	Ar
Arboleda	19	2219	80	Alto	F-Ar-A

Textura: F: franco; Ar: arcilloso; A: Arenoso.

Nota: Adaptado del Atlas Climatológico, por IDEAM. 2010.

(<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>)

San Pedro de Cartago. Se encuentra ubicado al Noroccidente del departamento de Nariño a una altitud de 2.100 msnm y temperatura media de 18°C. El lote experimental se ubicó en la vereda El Arenal, coordenadas 01°32'24,8"LN y 77°08'07,7"LN y una altura de 2.396 msnm.

La Unión. Municipio localizado al nororiente del departamento de Nariño, a una temperatura promedio de 19°C y una altitud de 1.650 msnm. El lote experimental se ubicó en la vereda Betulia; coordenadas N 01°29'3,7" y W 77°13'47,3", a una altura de 1.405 msnm.

Tangua. La localidad de Tangua está ubicada a 28 km, al sur occidente Pasto, con un área de 239 km². A una altitud de 2.403 msnm y una temperatura media de 16°C. El lote experimental se ubicó en la vereda El Obraje, con coordenadas 01°3'44,74"LN y 77°25'12,26"LO, a una altura de 2.420 msnm.

Arboleda. Se encuentra situado en la subregión montañosa del norte del departamento de Nariño a 2.100 msnm, con una temperatura media de 19°C. El lote experimental se ubicó en la vereda Berruecos, con coordenadas 01°30'45,0"LN y 77°08'42,0"LN y una altura de 2.219 msnm.

Material vegetal. Se evaluaron 10 FMH de lulo, seleccionadas de las 50 FMH evaluadas en el primer objetivo. Para la obtención de este material vegetal, en la primera etapa, se realizó una selección estratificada en los municipios de Yacuanquer y la Florida donde se formaron 50 FMH de lulo. En la segunda etapa, se evaluaron las 50 FMH y se sembraron en ensayos experimentales bajo un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, en cuatro localidades del departamento de Nariño que corresponden a La Unión, San Pedro de Cartago, Arboleda y Tangua, entre los 1.700 y 2.100 msnm. Con base en variables de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto se realizó la selección de 10 FMH; que posteriormente fueron evaluadas bajo el diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones. En la Tabla 1, se observan las características más importantes de las 10 FMH evaluadas. Además, se incluyó en las evaluaciones un testigo que corresponde al lulo de Castilla (*Solanum quitoense* L.), cultivar con amplia aceptación en mercados nacionales por la calidad de sus frutos, valor nutritivo y múltiples usos como fruta fresca. Sus frutos son ácidos y es una de las variedades más cultivadas en Colombia (Tabla 2). Pese a sus bondades, su producción se ve limitada por la susceptibilidad a pudriciones radicales causadas por *Fusarium oxysporum* y a nematodos fitosanitarios como *Meloidogyne* sp., los cuales causan la muerte de las plantas y reducen la vida útil del cultivo (Salazar-González & Betancourth-García, 2017).

Tabla 2-2: Promedios a través de localidades de Peso de Fruto (PF), Rendimiento (RTO), Relación Semilla/Pulpa (RSP), Volumen de fruto (VOL), Respiración (RES) y Ácido Ascórbico (AA) en 10 FMH sobresalientes de lulo (*S. quitoense*)

FMH	PF	RTO	RSP	VOL	IR	AA
1	88.44	8.88	2.87	113.38	37.03	34.00
4	88.35	9.57	2.71	113.00	27.50	38.77
7	105.23	9.53	3.05	127.38	24.34	37.31
22	100.44	8.19	2.54	127.75	27.51	32.39
25	105.33	9.10	2.82	128.44	28.21	34.74
28	97.43	9.02	2.91	123.25	26.19	30.39
29	98.25	10.91	2.89	128.13	25.12	29.94
36	92.97	8.61	2.74	123.88	25.24	32.93
45	97.25	6.96	3.07	120.50	26.66	34.93
49	110.78	9.92	2.95	136.93	25.72	40.18
TESTIGO	107.73	8.83	2.53	125.27	21.33	31.08

VARIABLES EVALUADAS. La toma de datos de cada una de las variables evaluadas se hizo en cinco frutos por cada parcela útil, para un total de 20 frutos por muestra. Se efectuó la limpieza manual de cada uno de los frutos con el fin de retirar remanentes propios o externos de suciedad. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Peso del fruto (PF). Se determinó el peso en gramos con la ayuda de una balanza semianalítica.

Rendimiento (RTO). Se pesó el total de frutos producidos en la parcela útil y con base en este peso, se expresó el RTO en t.ha⁻¹.

Volumen de fruta (VOL). Se realizó mediante desplazamiento de líquidos, se sumergieron los frutos en un recipiente con agua a punto de desborde y se recogió la cantidad de agua rebosada, posteriormente se midió el volumen de agua en una probeta de 1000 mL.

Índice de Respiración (IR). El IR se determinó con base en la metodología descrita por Parra Coronado (2015). En un recipiente de vidrio con volumen estándar herméticamente cerrado, se colocó una muestra de 400 a 500 g de frutos de lulo en estado de madurez 4 (según tabla de color NTC5093) junto con el medidor de carbono y temperatura marca Lutron modelo GC-2028. Se tomó la lectura de CO₂ a través del sensor contenido en el recipiente por un periodo de 10 minutos. La IR se calculó con la ecuación 2.1:

$$IR_{(mgCO_2/kg*h)} = \frac{1,8(CO_2f - CO_2i) * 0,001 * V}{M * T} \quad (2.1)$$

Dónde:

V= volumen libre del recipiente (L)

M= peso de la muestra (kg)

T= tiempo de evaluación (h)

Ácido Ascórbico (AA). Se determinó mediante medición reflectométrica para lo cual se utilizó un Reflectoquant calibrado previamente para la medición de ácido ascórbico. Se realizó la dilución de 10 ml de jugo filtrado de lulo en 20 ml de ácido oxálico, se

homogenizo la mezcla y se dejó en reposo; posteriormente se introduce las tirillas de medición específicas para ácido ascórbico, se secó el exceso de líquido con una toalla absorbente y se introdujo la tirilla en el equipo medidor. Dado que el equipo arroja los datos en mg/L de solución se realizó una corrección de unidades mediante la siguiente fórmula (2.2):

$$\text{Contenido de ácido ascórbico (mg/100g)} = \frac{AAM * VS}{VM * PM} \quad (2.2)$$

Donde:

AAM = Ácido ascórbico medido (mg/L)

VS = volumen de la solución (ml)

VM = volumen de la muestra (ml)

PM = peso de muestra (g)

Análisis de la información. En cada localidad se estableció un ensayo bajo el diseño de Bloques Completos al Azar con 11 tratamientos y cuatro repeticiones. El área experimental de cada ensayo fue de 2.160 m². La parcela experimental estuvo conformada por un surco de seis plantas sembradas a distancias de 2,5 m x 3 m, para una superficie de 45 m². La parcela útil fue de 30 m² en donde se ubicaban cuatro plantas centrales con el fin de evitar el efecto de borde.

Los datos obtenidos de la evaluación de las variables evaluadas se sometieron al Análisis de Varianza Combinado (ANDEVA). Cuando la Interacción Genotipo por Ambiente (IGA) fue significativa, se realizó un análisis del efecto del ambiente en cada uno de las FMH.

El modelo estadístico del ANDEVA combinado utilizado, es el siguiente (2.3):

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + B(L)_{ij} + G_k + (GxA)_{ik} + e_{ijk} \quad (2.3)$$

Dónde: i=1,2,...,l localidades; j=1,2,...,b bloques y k=1,2,...,g genotipos o FMH, Y_{ijk}= variable de respuesta del k-ésimo genotipo en el j-ésimo bloque del i-ésimo ambiente, μ = media general, L_i = Efecto del i-ésimo ambiente, B(L)_{ij} = Efecto del j-ésimo bloque dentro del i-ésimo ambiente, G_k = Efecto del k-ésimo genotipo, (GxA)_{ik} = Efecto de la interacción genotipo por ambiente y e_{ijk}= Error asociado a la variable de respuesta Y_{ijk}.

Además, se realizó “el análisis de estabilidad fenotípica, bajo el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa –AMMI” (Mandel, 1971), bajo el siguiente modelo (2.4):

$$Y_{gl} = \mu + \alpha_g + \beta_l + \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{gn} \delta_{ln} + \rho_{gl} \quad (2.4)$$

Dónde: Y_{gl} variable de respuesta de cada FMH o Testigo en la localidad l , μ = media general de las variables evaluadas, α_g = desviaciones de los promedios de FMH y el testigo, β_l = desviaciones de las medias de localidades, n = número de componentes principales retenidos en el ACP, λ_n = valor propio para el n -ésimo componente principal, Y_{gn} = vectores propios para cada genotipo, δ_{ln} = vectores propios para cada ambiente y ρ_{gl} = residual.

Para cada FMH se calculó el valor medio de estabilidad (ASV) de AMMI, que corresponde a la distancia desde el punto de coordenadas hasta el origen en un gráfico bidimensional de puntajes de CP1 versus las puntuaciones de CP2 (Al-Naggar et al., 2020). Los puntajes de CP1 contribuyen más a la suma de cuadrados de la IGA, por lo tanto, se necesita un valor ponderado; que se calculó de la siguiente manera (2.5):

$$ASV = \sqrt{\left\{ \left(\frac{SSCP1}{SSCP2} \right) (iCP1) \right\}^2 + iCP2} \quad (2.5)$$

Donde:

SSCP1= suma de cuadrados del CP1 del primer modelo AMMI

SSCP2= suma de cuadrados del CP2 del segundo modelo AMMI

iCP1= participación de cada FMH i en el CP1

iCP2= participación de cada FMH i en el CP2

Si el valor negativo o positivo del ASV es de alta magnitud, se determinó que una FMH presento adaptación específica a ciertos ambientes; por otro lado, si el valor de ASV fue más pequeño, se definió que la FMH fue más estable a través ambientes (Al-Naggar et al., 2020).

2.5 Resultados y Discusión

Peso de fruto (PF). El análisis combinado ANDEVA de las FMH mostró, que peso de fruto (PF) tiene efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para genotipos (FMH y Testigo), significativos ($P < 0.05$) para localidades (LOC) y para la interacción localidad x FMH (LOC x FMH) (Tabla 3). El modelo AMMI mostró que de las sumas de cuadrados generadas, el ambiente contribuye con el 8.14%, la interacción con el 13.68% y el efecto de FMH y Testigo aportan un 37.22%. Los resultados revelaron que las FMH de lulo tenían diferente adaptabilidad al medio. Sin embargo, los efectos de los genotipos (FMH) fueron el principal causante de la variación total del PF. Por otra parte, la descomposición de los efectos de la interacción en componentes principales del modelo AMMI, indican que el primer componente (CP1) aporta un 67.82% de la varianza total de la interacción, el CP2 aporta un 23.79% y el CP3 un 8.40%, siendo el primer componente significativo.

Tabla 2.3: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Peso de Fruto de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

	FV		GL	SC	CM	F	Pr(>F)	%SC
LOC			3	1901,97	633,99	4,99	0,02	8,14
REP(LOC)			12	1523,45	126,95	1,89	0,04	6,52
FMH y Testigo			10	8693,52	869,35	8,16	<,0001	37,22
LOC*FMH			30	3195,00	106,50	1,59	0,04	13,68
ERROR			120	8040,82	67,01			34,43
CP	%	%Ac						
CP1	67,82	67,82	12	2166,74	180,56	2,58	0,00	
CP2	23,79	91,60	10	759,98	76,00	1,09	0,38	
CP3	8,40	100	8	268,28	33,53	0,48	0,87	

GL: grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; F: F calculado; Pr(>F): probabilidad de F; %SC: Porcentaje de suma de cuadrados; CP: Componente principal; %Ac: Porcentaje Acumulado.

El ASV de la tabla 4, estableció la distancia de cada FMH en el biplot. El ASV se clasifica de mayor a menor; siendo el menor el que más está cerca al origen y por consiguiente el

más estable (Liu et al., 2022). En consecuencia, los valores de ASV, establecieron que los genotipos Testigo, FMH4 y FMH28 son estables. Los valores de ASV altos indican que los genotipos FMH25 y FMH1 son inestables. Según Naggar et al. (2020), un genotipo ideal debe tener un alto promedio para el carácter evaluado y un ASV bajo; que corresponde a los genotipos Testigo, FMH49, FHM28 y FMH45 los cuales presentaron un promedio alto de PF y los ASV más bajos y moderados.

Los genotipos FMH29 y FMH7 podrían ser potenciales para validar el desempeño del PF y la adaptabilidad específica, considerando que tienen altos promedios de PF y valores medios de ASV. Los resultados altos de ASV indican que la FMH1 es inestable y no adaptada a los ambientes donde fue evaluada y presenta el bajo promedio para PF (Al-Naggar et al., 2020).

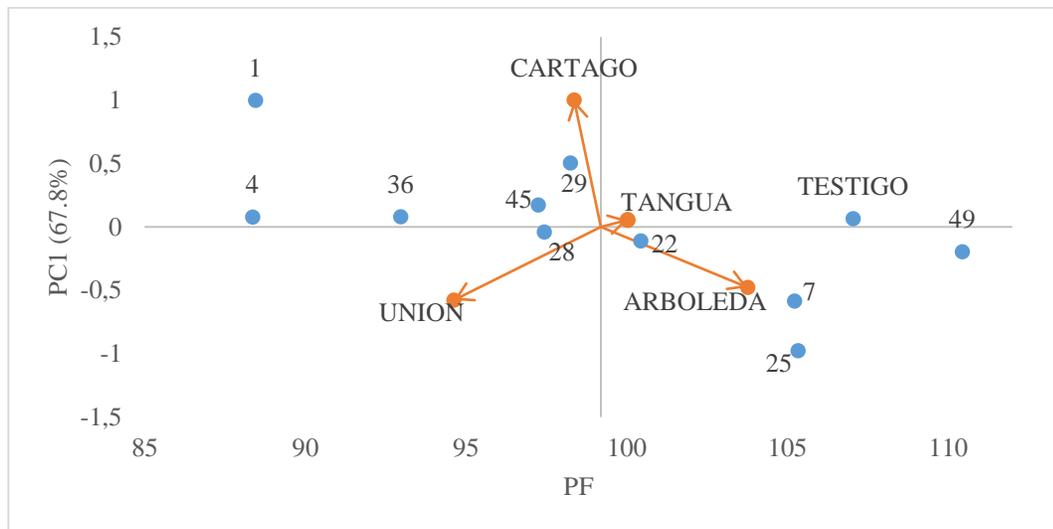
Tabla 2-4: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de peso de fruto (PF) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño

FMH	PF	ASV	Orden
TESTIGO	107.04	0.20	1
4	88.35	0.27	2
28	97.43	0.39	3
45	97.25	0.50	4
49	110.44	0.60	5
22	100.44	0.68	6
36	92.97	0.82	7
29	98.25	1.49	8
7	105.22	1.66	9
25	105.33	2.79	10
1	88.44	2.88	11

En la Figura 1, generada a partir del PC1 y los promedios de PF de los genotipos y ambientes, se puede observar que FMH49, testigo, FMH7 y FMH25, se encuentran a la derecha de la línea vertical y por lo tanto, por encima del promedio general de PF (99.2g). La FMH49 es la familia que obtuvo el mayor promedio con 110.44g, sin embargo, las familias FMH1 (88,44g) y FMH4 (88.35g) registraron los promedios más

bajos de PF. Las FMH más estables fueron 4, 36, 45, 29, 22 y Testigo. La FMH4 fue la más estable pero presentó el promedio más bajo de PF. De todos los genotipos el Testigo y la FMH49 obtuvieron los mayores promedios de PF y fueron estables. Por lo tanto, la FMH49 se considera un genotipo estable y con alto PF, entre las FMH evaluadas. En los ambientes, se destacan Tangua (100.03g) y Arboleda (103.77g), con promedios generales que superan a las demás localidades y se encuentran dentro del calibre 26 y 30. Según la NTC5093 (ICONTEC, 2002) estos calibres son los más adecuados para su comercialización en fresco (Muñoz et al., 2013).

Figura 2-1: Representación gráfica del CP1 en función del PF de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



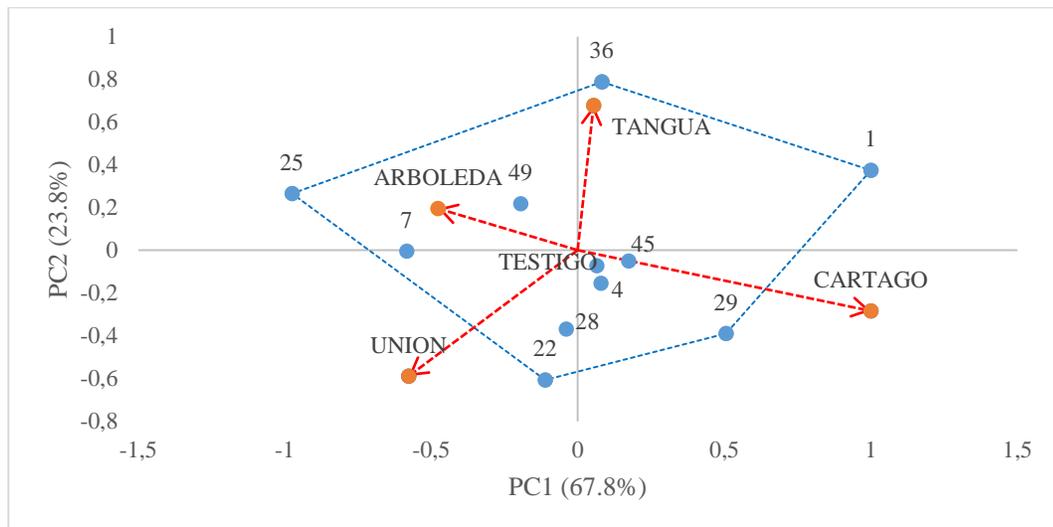
Fuente: el autor

En la representación gráfica de “la contribución de los genotipos y ambientes a la interacción, considerando los dos primeros ejes (Figura 2), las FMH ubicadas en posiciones cercanas al origen de los ejes contribuyen en bajo porcentaje a la interacción”, siendo considerados estables y de mayor adaptabilidad en los ambientes por su baja interacción (Damba, 2008). Según estos criterios, el Testigo, FMH4 y FMH45 mostraron mayor estabilidad a través de las localidades evaluadas, con promedios de 88.35g y 97.25g, respectivamente y el promedio del testigo supera la media general con 107.04g.

El polígono de variación está formado por las familias 36, 1, 29, 22 y 25 que se encuentran en los vértices con círculos azules y son los de mayor interacción y, a su vez, tienen mayor adaptación específica a los ambientes del área correspondiente (Liu et al., 2022; Rodríguez-González et al., 2011), de esta manera en el sector superior se ubica el ambiente Tangua donde se destaca la FMH36 con un promedio de 92.97g, en el sector derecho se ubica el ambiente Cartago donde destacan las FMH1 y FMH29 como los más adaptados, que obtuvieron promedios de 88,44 y 98,25g, respectivamente; en el lado izquierdo se encuentra la Unión con la FMH22 como la más adaptada y con un promedio 100,44 g y por último, Arboleda con la FMH25 con un promedio de 105,33g.

Estos promedios superan los encontrados por Lagos et al. (2015) y Álvarez et al. (2016), con valores que oscilan entre 52.6 y 81.5g y son catalogados en calibre 26 y 30 (ICONTEC, 2002). Además, teniendo en cuenta la interacción de esta variable con el ambiente, se deben tener en cuenta algunas labores de tipo agronómico para mejorar la calidad del fruto al momento de la cosecha, es así como Ardila et al. (2015), recomiendan mejorar la calidad del fruto con podas de ramas productivas y el manejo de racimos por rama, obteniendo un mayor porcentaje de frutos en categoría extra y de primera con 40 racimos por planta y de cuatro a cinco tallos por planta.

Figura 2-2: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para PF de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



Fuente: el autor

Rendimiento (RTO). El ANDEVA reveló diferencias altamente significativas ($P > 0.01$) para localidades y para la interacción localidad x FMH (LOC x FMH), indicando que las FMH y el testigo se comportan de manera diferencial en los ambientes evaluados (Tabla 5). Esto manifestó que la interacción LOC x FMH tuvo un efecto considerable en el desempeño de los genotipos en diferentes ambientes. A pesar de que los genotipos no fueron estadísticamente significativos, la interacción significativa es de suma importancia para encontrar genotipos potenciales y con adaptación específica o general para los ambientes de Nariño.

De la varianza total, el mayor porcentaje lo aportan las localidades con 43.82%, seguido del error con 22.22%. La interacción aporta un 10.58% y los genotipos un 5.88% sin presentar diferencias significativas. La descomposición de los efectos de la interacción en componentes principales del modelo AMMI, indican que el CP1 aporta un 69.43% de la varianza total de la interacción, seguido del CP2 con 19.15% y el CP3 con 11.43%, siendo el primer componente significativo.

Tabla 2-5: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Rendimiento de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

	FV		GL	SC	CM	F	Pr(>F)	%SC
LOC			3	1166,40	388,80	10,01	0,00	43,82
REP(LOC)			12	465,94	38,83	7,88	<,0001	17,50
GENOTIPOS (G)			10	156,53	15,65	1,67	0,13	5,88
LOC*G			30	281,54	9,38	1,90	0,01	10,58
ERROR			120	591,42	4,93			22,22
	CP	%	%Ac					
	CP1	69,43	69,43	12,00	195,42	16,28	2,56	0,00
	CP2	19,15	88,58	10,00	53,91	5,39	0,85	0,58
	CP3	11,42	100	8	32,13	4,02	0,63	0,75

GL: grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; F: F calculado; Pr(>F): probabilidad de F; %SC: Porcentaje de suma de cuadrados; CP: Componente principal; %Ac: Porcentaje Acumulado.

En la tabla 6, se encuentra el valor de ASV, que corresponde a la distancia de cada genotipo en el biplot. Para el RTO los valores de ASV bajos, establecieron que las FMH 28, 36, 4 y 1 son estables. Los valores de ASV altos indican que los genotipos FMH25, Testigo y FMH29 son inestables. El ASV es útil para realizar selección simultanea identificando genotipos con altos rendimientos y estables (Sharifi et al., 2017). En consecuencia, las familias FMH4, FMH28, FMH49 y FMH25 son promisorias debido a su alto rendimiento y estabilidad.

Las familias FMH49, FMH7 y FMH25 tienen altos promedios de RTO y valores medios de ASV, podrían ser viables para validar el desempeño del RTO y la adaptabilidad específica. Los resultados altos de ASV indican que la FMH29 es inestable y no adaptada a los ambientes donde fue evaluada pero presenta altos promedios de RTO (Al-Naggar et al., 2020).

Tabla 2-6: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de rendimiento (RTO) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño

FMH	RTO	ASV	Orden
28	9.02	0.33	1
36	8.61	0.47	2
4	9.57	0.50	3
1	8.88	0.89	4
45	6.96	1.04	5
49	9.56	1.40	6
22	8.19	2.01	7
7	9.53	2.29	8
25	9.10	2.35	9
TESTIGO	8.50	2.82	10
29	10.91	3.65	11

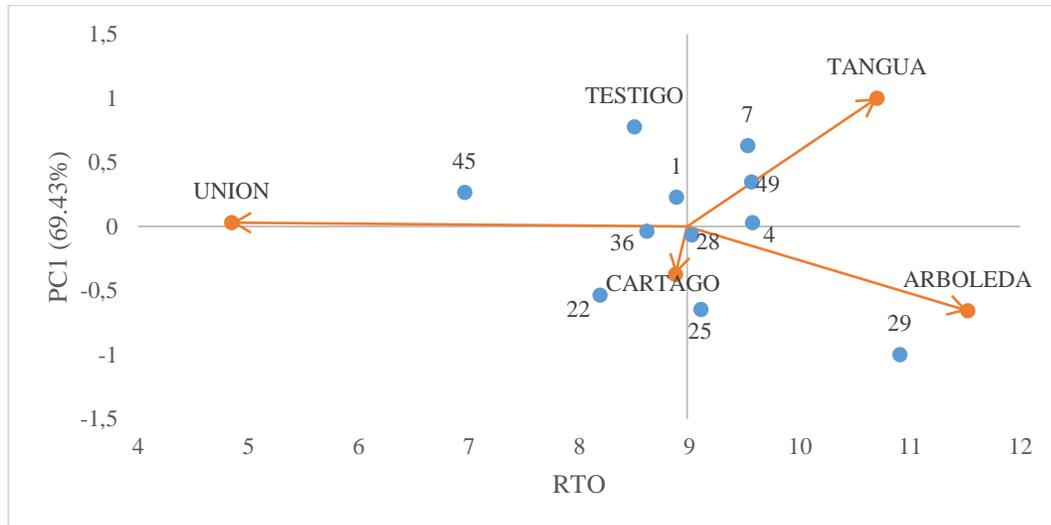
En la Figura 3, se observa en la línea vertical del eje Y, el valor del promedio general de RTO que corresponde a $8,98 \text{ t.ha}^{-1}$, el cual supera al promedio departamental ($5,64 \text{ t.ha}^{-1}$) en $3,34 \text{ t.ha}^{-1}$, gracias a los procesos de selección en los ambientes de evaluación. Se puede observar que Arboleda tiene un promedio general de rendimiento por encima de

las demás localidades con 11,52t.ha⁻¹, seguido de Tangua con 10,7t.ha⁻¹, ubicándose por encima de la media general y del promedio nacional de 10,09t.ha⁻¹ (MADR, 2018).

Cartago presentó un promedio de 8,87t.ha⁻¹ y el promedio más bajo fue para La Unión con 4,85t.ha⁻¹, lo que puede deberse a la presencia de focos importantes de pasador del fruto (*Neoleucinodes elegantalis*) durante el periodo de evaluación, los cuales se ven favorecidos por la altura de la localidad (1405msnm) y su temperatura promedio (19°C), los cuales se encuentran dentro del rango de infestación para lulo (Ana Elizabeth Díaz & Brochero, 2012) y genera pérdidas en la producción por la afectación de frutos en estados de coloración 2 y 3 (ICONTEC, 2002). En cuanto a los ambientes, Cartago se destaca por la menor contribución a la interacción y los ambientes Arboleda, Tangua y la Unión tuvieron una alta contribución a la IGA (Figura 3). Lo anterior, está relacionado con la estabilidad ambiental que permite determinar el orden de un genotipo en un ambiente dado entorno a su favorabilidad.

Por otro lado, las puntuaciones del efecto ambiental se observan como más dispersas que las del efecto de los genotipos confirmando lo mencionado anteriormente, la variabilidad debida al efecto ambiental es mayor que la variabilidad causada por efectos de los genotipos (De Oliveira et al., 2015). Además, se observa que la variación del rendimiento promedio es menor en las familias que en los ambientes de evaluación (Figura 3). Se destaca la FMH29 con el mayor promedio a través de los ambientes (10,91t.ha⁻¹) y el menor promedio corresponde al obtenido por FMH45 con 6,96t.ha⁻¹.

Figura 2-3: Representación gráfica del CP1 en función del RTO de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

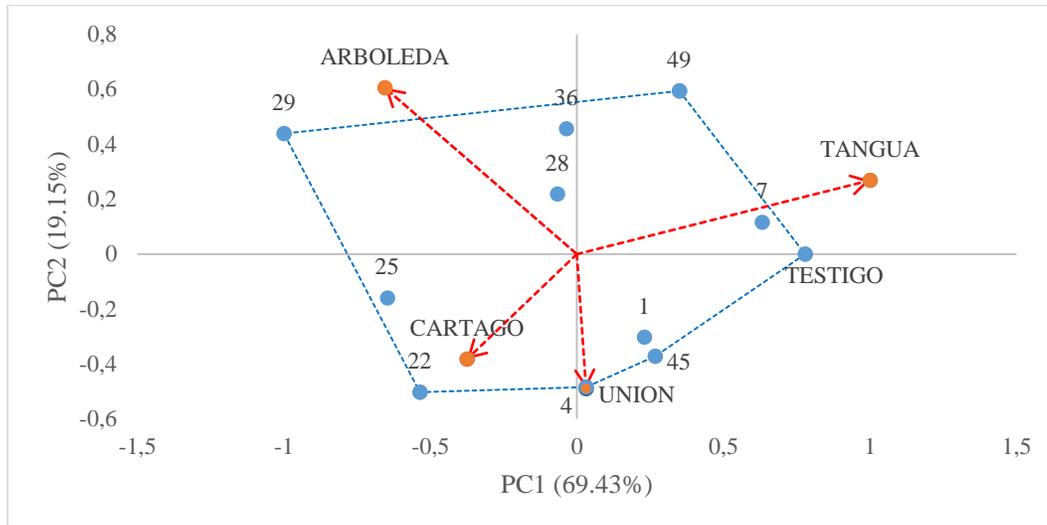


Fuente: el autor

En la representación gráfica de la contribución de los genotipos y ambientes a la interacción considerando los dos primeros ejes (Figura 4), se observa que las familias 29, 49, 22, 4, 45 y el Testigo forman el polígono de variación, de los cuales FMH49 no presenta una adaptación específica y su comportamiento varía conforme al ambiente, siendo considerado como inestable (Ceballos, 2012). Con esta misma posición, pueden considerarse las FMH36 y FMH25 que no se adaptan a ningún ambiente específico.

Por la longitud de los vectores, las localidades evaluadas permiten discriminar la adaptación específica de las familias, como lo describe Yan et al. (2000). El testigo y FMH7 presentan adaptación a la localidad de Tangua, donde su RTO promedio fue de $12,82t \cdot ha^{-1}$ y $13,41t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. En La Unión, la FMH4 se ubica justo al extremo del vector, por lo tanto, se adapta a este ambiente, con un RTO de $6,14t \cdot ha^{-1}$, que se considera bajo respecto a los demás. En la localidad de Cartago se destaca la FMH22 con adaptación específica en este ambiente, con un RTO promedio de $9,11t \cdot ha^{-1}$ y en la localidad de Arboleda, la FMH29 con el promedio más alto ($16,14t \cdot ha^{-1}$) (Figura 4). Así, la influencia de los ambientes fue responsable de la variación por genotipo y la interacción genotipo por ambiente (Kizilgeci et al., 2019).

Figura 2-4: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para RTO de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



Fuente: el autor

Volumen de fruto (VOL). El ANDEVA (Tabla 7) para VOL muestra diferencias altamente significativas ($P > 0.001$) para localidades y para la interacción localidad x tratamiento, indicando un comportamiento diferencial de las familias evaluadas para el carácter cuando su ambiente es modificado. De la varianza total, el 60.59% lo aportan las localidades, seguido del error con 17.85% y un 10.38% de la interacción. La descomposición de los efectos de la interacción en componentes principales del modelo AMMI, indican que los dos primeros CP fueron significativos. El CP1 aporta un 49.24% de la varianza total de la interacción, seguido del CP2 con 29.94% y el CP3 con 20.83% (Tabla 7).

Tabla 2-7: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Volumen de Fruto de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

FV		GL	SC	CM	F	Pr(>F)	%SC
LOC		3	59289.31	19763.10	58.98	<.0001	60.59
REP(LOC)		12	4020.67	335.06	2.30	0.01	4.11
TRAT		10	6922.31	692.23	2.04	0.06	7.07
LOC*TRAT		30	10159.44	338.65	2.33	0.00	10.38
ERROR		120	17464.70	145.53			17.85
CP	%	%Ac					
CP1	49.24	49.24	12	5002.49	416.87	2.72	0.00
CP2	29.94	79.18	10	3041.25	304.13	1.99	0.04
CP3	20.83	100	8	2115.70	264.46	1.73	0.10

GL: grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; F: F calculado; Pr(>F): probabilidad de F; %SC: Porcentaje de suma de cuadrados; CP: Componente principal; %Ac: Porcentaje Acumulado.

EL valor de ASV, permitió obtener una clasificación de los genotipos de acuerdo a la medida de estabilidad, ya que el modelo AMMI no la proporciona (Mekonnen & Mohammed, 2009). La Tabla 8 indica el ASV más bajo para las FMH 7, 49, y 28, por lo tanto, son las más estables, entre estos genotipos la FMH49 tiene el mayor promedio para la variable VOL. Por otro lado, los genotipos TESTIGO, FMH22 y FMH25 son inestables ya que tiene los valores más altos de ASV, entre ellos el promedio más alto de VOL le corresponde a la FMH25.

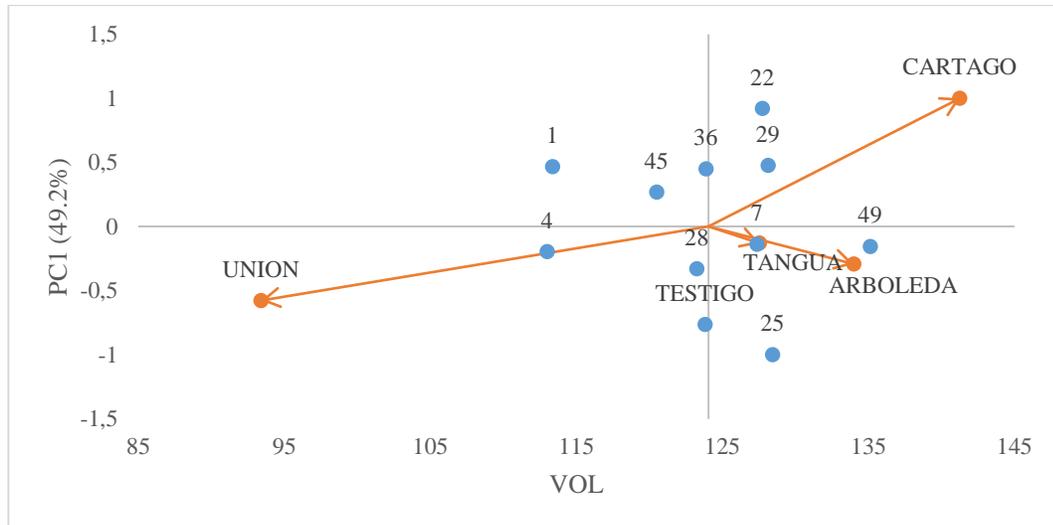
Tabla 2-8: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de volumen (VOL) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño

FMH	VOL	ASV	Orden
7	127.38	0.24	1
49	135.13	0.26	2
28	123.25	0.55	3
4	113.00	0.71	4
45	120.50	0.85	5
1	113.38	0.91	6
36	123.88	0.94	7
29	128.13	0.99	8
TESTIGO	123.81	1.46	9
22	127.75	1.53	10
25	128.44	1.69	11

Para esta variable, el biplot originado a partir de los promedios generales de las familias y los ambientes vs el CP1 (Figura 5), permite diferenciar aquellas familias con promedios por encima de la media general (124.06cm^3), que corresponden a las FMH22 (127.75cm^3), FMH29 (128.12cm^3), FMH7 (127.37cm^3), FMH25 (128.48cm^3) y FMH49 (135.12cm^3), las cuales superan a los promedios encontrados por Gonzales et al. (2014) y Monteiro et al. (2013) con volúmenes que oscilaron entre los 119.59 cm^3 y 123.04 cm^3 .

Los promedios de las localidades Tangua (127.55cm^3), Arboleda (134.0cm^3) y Cartago (141.27cm^3) superan la media general, permitiendo establecer que las condiciones ambientales de estas localidades fueron óptimas para la acumulación de fotoasimilados y captación de agua a través de raíces en las familias evaluadas, que según Fonseca et al. (2013) y Carvajal et al. (2012) son factores determinantes para establecer el volumen de fruto, además, se debe considerar que el VOL se ajusta a un modelo de crecimiento sigmoideal simple, donde el máximo se encuentra alrededor de los 63.4 días después de la anthesis (Monteiro et al., 2013), que corresponde al tiempo en alcanzar el estado de maduración tres sobre el cual se evaluaron los frutos cosechados (ICONTEC, 2002).

Figura 2-5: Representación gráfica del CP1 en función del VOL de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

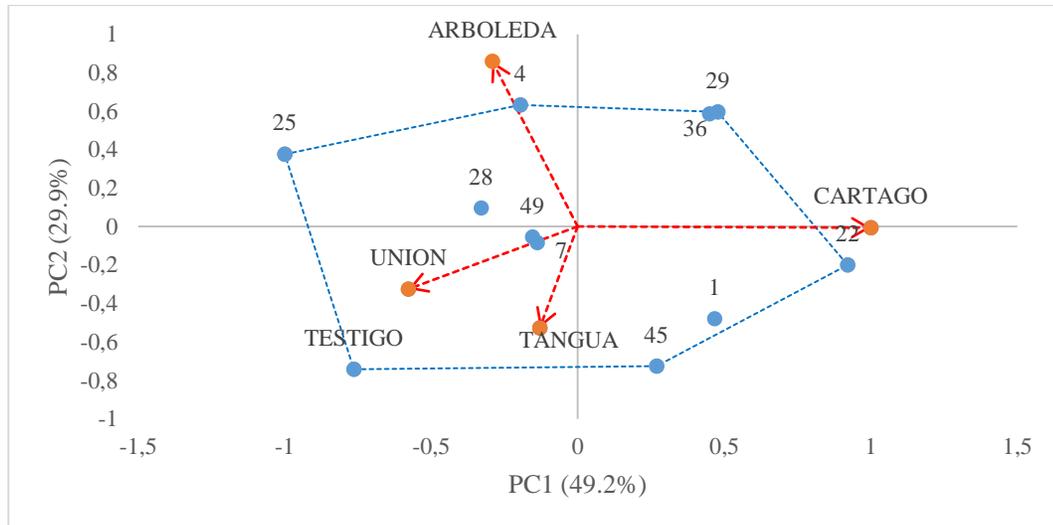


Fuente: el autor

En la representación gráfica de la contribución de los genotipos y ambientes a la interacción, considerando los dos primeros ejes (Figura 6), se forma el polígono de variación por las FMH25, 4, 29, 22, 45 y el Testigo, de los cuales FMH29, 45 y 25 se consideran inestables dado que no presentan adaptabilidad a ningún ambiente en específico. Esta condición, también es observada en las FMH1 y 36 (Figura 6).

Cerca al punto de origen se encuentran FMH49 y 7, consideradas estables y de adaptación general por su baja interacción con los ambientes (Alejos et al., 2006), con promedios de 135.12cm^3 y 137.37cm^3 . A su vez, se observa adaptación específica de FMH22 a la localidad de Cartago, donde obtuvo el promedio más alto entre las familias con 162.5cm^3 , sin embargo, al observar el promedio de PF de esta familia (99.93g), se encuentra por debajo de la media general (99.2g), lo que puede explicarse como un aumento de diámetros del fruto por división celular (Monteiro et al., 2013), pero existe una baja proporción de contenido de pulpa y materia seca en el estado de maduración de cosecha. Con adaptación específica se encuentra también FMH4 al ambiente de Arboleda con un promedio de 133cm^3 .

Figura 2-6: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para VOL de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



Fuente: el autor

Índice de Respiración (IR). Para *IR* el ANDEVA muestra efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para tratamientos, localidades y para la interacción localidad x tratamiento (Tabla 9). De la varianza total, el ambiente contribuye con el 12.79% y la interacción con el 17.91%. Los efectos de tratamientos aportan un 27.02% y la varianza residual (error) un 37.56% de la varianza total. La descomposición de los efectos de la interacción en componentes principales del modelo AMMI, indican que el primer componente (CP1) aporta un 55.82% de la varianza total de la interacción, el CP2 aporta un 30.83% y el CP3 un 13.35%, siendo el primer componente significativo.

Tabla 2-9: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Índice de Respiración de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	%SC	
LOC	3	1174.31	391.44	10.82	0.00	12.79	
REP(LOC)	12	434.07	36.17	1.26	0.25	4.73	
TRAT	10	2480.83	248.08	4.53	0.00	27.02	
LOC*TRAT	30	1644.27	54.81	1.91	0.01	17.91	
ERROR	120	3449.00	28.74			37.56	
CP	%	%Ac					
CP1	55.82	55.82	12	917.87	76.49	2.59	0.00
CP2	30.83	86.66	10	506.97	50.70	1.72	0.08
CP3	13.35	100	8	219.43	27.43	0.93	0.49

GL: grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; F: F calculado; Pr(>F): probabilidad de F; %SC: Porcentaje de suma de cuadrados; CP: Componente principal; %Ac: Porcentaje Acumulado.

Para la variable IR, la clasificación de los genotipos de acuerdo a la medida de estabilidad ASV (Tabla 10) indica el ASV más bajo para las FMH 45, 36, 4 y 22, por lo tanto, son las más estables, entre estos genotipos la FMH36 tiene el menor promedio. Por otro lado, el genotipo TESTIGO es inestable por su alto valor de ASV y además presenta el menor promedio de IR.

Tabla 2-10: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de índice de respiración (IR) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño

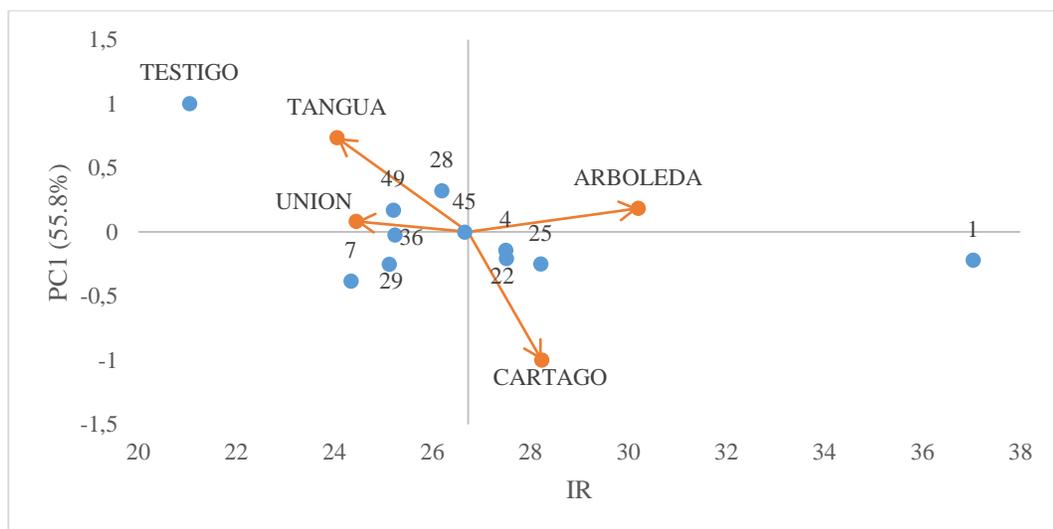
FMH	IR	ASV	Orden
45	26.66	0.03	1
36	25.24	0.15	2
4	27.50	0.26	3
22	27.51	0.39	4
29	25.12	0.48	5
25	28.21	0.50	6
49	25.20	0.54	7
28	26.19	0.65	8
7	24.34	0.76	9
1	37.04	0.91	10
TESTIGO	21.05	1.81	11

Considerando que los frutos evaluados se encuentran en el mismo grado de maduración al momento de la evaluación, podemos observar en la figura 7 la intensidad respiratoria de las familias y el promedio general de las localidades evaluadas, donde familias como FMH1 se encuentra por encima de los demás promedios con un valor de 37.03 Mg CO₂.Kg⁻¹.h, indicando una mayor actividad generada por procesos de división celular o indicando que aún no se alcanza la madurez fisiológica y los tejidos del fruto se encuentran en expansión ((Monteiro et al., 2013; Ochoa V. et al., 2016), en contraste, el menor promedio corresponde al testigo con 21.05 Mg CO₂.Kg⁻¹.h, indicando una disminución de la intensidad respiratoria en el estado de madurez 3 (ICONTEC, 2002) en comparación con las demás familias, lo que puede explicarse por precocidad al alcanzar la madurez fisiológica y en el aumento del contenido de sólidos solubles totales (Monteiro et al., 2013). Las demás familias están en el rango de 24.34 Mg CO₂.Kg⁻¹.h (FMH7) a 28.21 Mg CO₂.Kg⁻¹.h (FMH25).

Entre las localidades, se destaca el promedio de Arboleda con 30.19 Mg CO₂.Kg⁻¹.h, seguido de Cartago con 28.23 Mg CO₂.Kg⁻¹.h que superan la media general de 26.73 Mg CO₂.Kg⁻¹.h. Por debajo de la media, se encuentran Tangua y la Unión con 24.05 y 24.44 Mg CO₂.Kg⁻¹.h, respectivamente. Según Ortolá (2020), existen factores ambientales

determinantes en la intensidad respiratoria de los frutos, como son la temperatura y la composición atmosférica del ambiente. En el primer factor, a mayor temperatura mayor será la velocidad de la actividad respiratoria, acelerando el proceso de maduración de los frutos, lo que pudo presentarse en Arboleda y Tangua por las condiciones de verano durante el periodo de evaluación. En el segundo factor, el O₂ por encima del 21% y CO₂ mayores al 0.03% reducen la respiración y aumentan la vida de almacenamiento de los frutos, siendo información útil al momento de la cosecha y comercialización del producto.

Figura 2-7: Representación gráfica del CP1 en función del IR de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

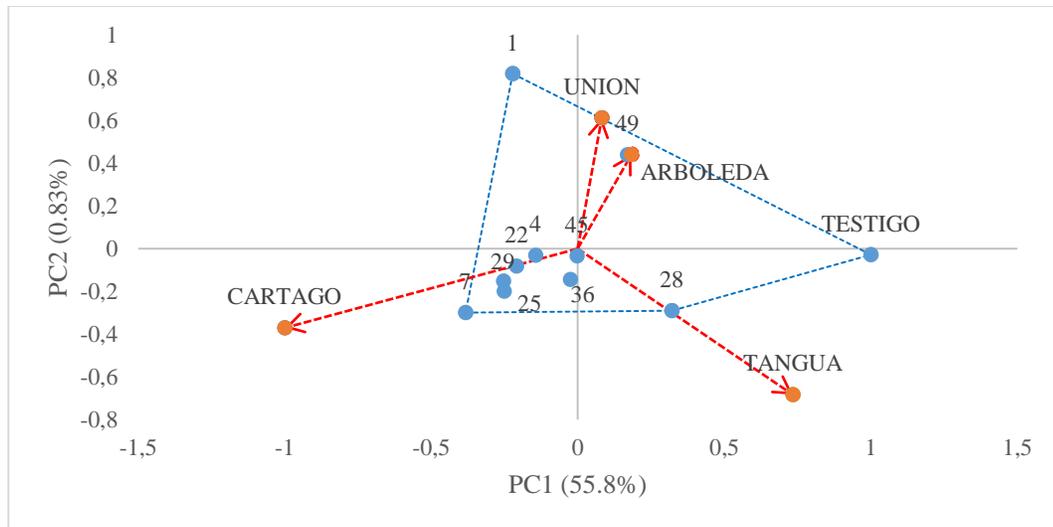


Fuente: el autor

En la figura 8 observamos la adaptación de las familias a los diferentes ambientes, donde se destacan FMH45, 4 y 36 por ubicarse cerca del centro de los ejes formados por CP1 y CP2, indicando un comportamiento estable para la variable IR con promedios de 26.66, 27.49 y 25.24 Mg CO₂.Kg⁻¹.h, respectivamente. Estas tres familias, no se ven afectadas por las condiciones ambientales mencionadas anteriormente (temperatura y concentración de CO₂ y O₂) y su IR se mantiene gracias a la expresión del carácter debido al genotipo, además, estos promedios son menores a lo encontrados por Ochoa-Vargas et al. (2016) y Monteiro et al. (2013) en frutos de maduración grado tres (ICONTEC, 2002).

De adaptación específica observamos a las familias FMH49 a la localidad de Arboleda y La Unión, que en este caso forman un solo ambiente por la cercanía y longitud de sus vectores y FMH28 ubicado sobre el vector de Tangua. La FMH1 y el testigo, se categorizan como inestables que forman el polígono de variación sin adaptación específica a un ambiente (figura 8).

Figura 2-8: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para IR de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



Fuente: el autor

Ácido ascórbico (AA). El ANDEVA muestra diferencias altamente significativas ($P > 0.01$) para localidades, tratamientos y para la interacción localidad x tratamiento, indicando que las familias se comportan de manera diferencial en los ambientes evaluados (Tabla 11). De la varianza total, el 64.04% lo aportan las localidades, seguido del error con 16.98% y un 7.49% de la interacción. La descomposición de los efectos de la interacción en componentes principales del modelo AMMI, indican que el CP1 aporta un 62.72% de la varianza total de la interacción, seguido del CP2 con 32.82% y el CP3 con 4.46%, siendo el primer componente significativo.

Tabla 2-11: Cuadrados medios del ANDEVA y del Análisis AMMI para Ácido Ascórbico de nueve FHM de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	%SC	
LOC	3	10471.91	3490.64	244.48	<.0001	64.04	
REP(LOC)	12	171.33	14.28	0.62	0.82	1.05	
TRAT	10	1709.30	170.93	4.19	0.00	10.45	
LOC*TRAT	30	1224.69	40.82	1.76	0.02	7.49	
ERROR	120	2776.03	23.13			16.98	
CP	%	%Ac					
CP1	62.72	62.72	12	768.12	64.01	2.85	0.00
CP2	32.82	95.54	10	401.97	40.20	1.79	0.07
CP3	4.46	100	8	54.60	6.82	0.30	0.96

GL: grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; F: F calculado; Pr(>F): probabilidad de F; %SC: Porcentaje de suma de cuadrados; CP: Componente principal; %Ac: Porcentaje Acumulado.

Las familias FMH4, FMH28, FMH7 y FMH49, son las más estables debido a su valor bajo de ASV (Tabla 12), estos valores se encuentran por debajo de uno. Entre ellas la FMH49, presenta el mayor promedio en contenido de AA y su comportamiento no fue afectado por el ambiente. Las familias clasificadas como inestables son FMH25 y FMH22.

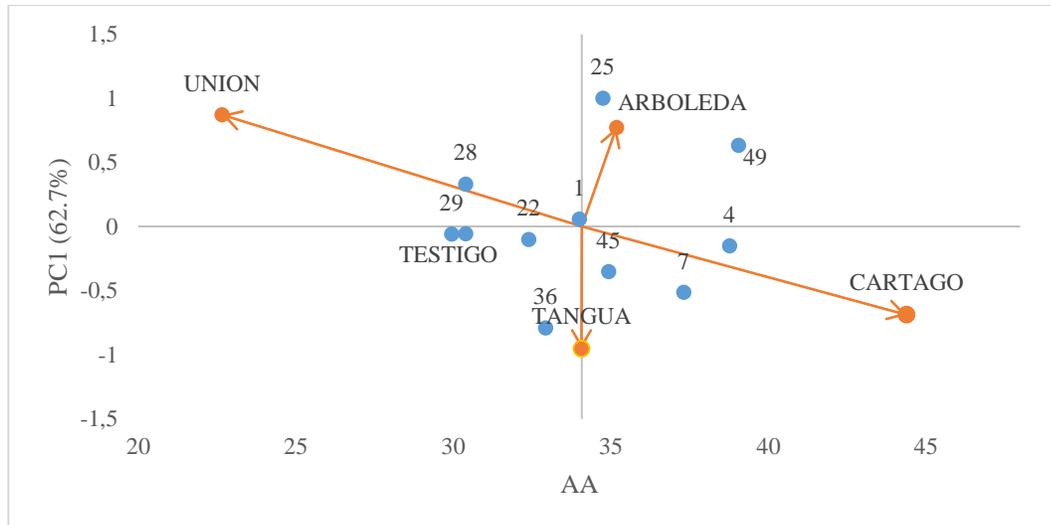
Tabla 2-12: Valor medio de estabilidad AMMI (ASV) y promedios de ácido ascórbico (AA) para familias de medios hermanos de lulo (FMH) en cuatro localidades del departamento de Nariño

FMH	AA	ASV	Orden
4	129.31	0.09	1
28	101.31	0.29	2
7	124.38	0.29	3
49	130.19	0.35	4
TESTIGO	101.31	0.41	5
1	113.75	0.42	6
29	99.81	0.48	7
36	109.75	0.56	8
45	116.44	0.58	9
25	115.81	0.74	10
22	108.56	0.81	11

En la figura 9 se presentan los valores promedio de AA para familias y localidades, observando que los frutos cosechados en estado de maduración 3 (ICONTEC, 2002) de las FMH25, 45, 7, 4 y 49 superan la media general de $34.04 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Estos promedios superan ampliamente a los encontrados por Bastidas y Cuaspud (2018); Gonzales et al. (2014) y Monteiro et al. (2013), lo que puede deberse a la baja proporción de enzimas que reducen el ácido ascórbico como la ascorbato oxidasa en la familias mencionadas y su desempeño o funcionabilidad es reducida en comparación con los genotipos objeto de estudio de los autores antes citados.

Teniendo en cuenta los promedios de AA de las demás familias evaluadas (Figura 9), los promedios oscilan entre 29.94 a $32.39 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ a través de los ambientes, considerados bajos en este estudio, pero con potencial agroindustrial si se considera que el consumo mínimo diario por persona debe ser de 50 mg (Fonseca H. et al., 2013), el cual sería otorgado por el consumo de dos frutos de cualquier familia evaluada. Entre los promedios de las localidades, el mayor promedio lo presenta Cartago ($44.39 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), seguido de Arboleda ($35.18 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) y Tangua ($34.07 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) y por ultimo La Unión ($22.66 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

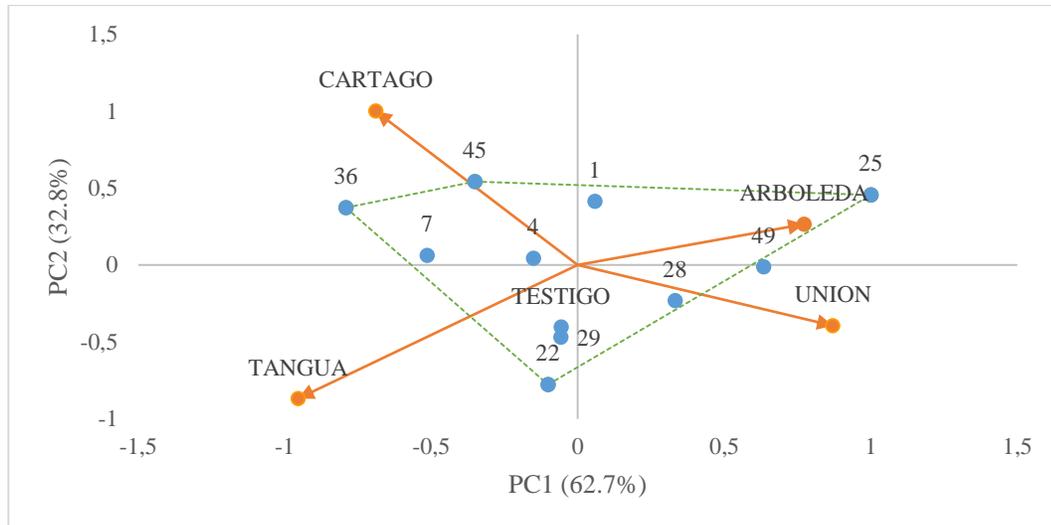
Figura 2-9: Representación gráfica del CP1 en función del AA de nueve FMH de lulo y un testigo comercial en cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



Fuente: el autor

En la figura 10 se observa que los ambientes Arboleda y La Unión con valores CP1 positivo y CP2 cercano a cero, lo cual indica que tuvieron poca participación sobre el efecto de interacción (Ceballos, 2012), agrupan a la FMH49 con un promedio de $42.9 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. FMH25 se encuentra cercano al vector de Arboleda indicando adaptación específica a este ambiente, con un promedio de $41.03 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ y con un promedio destacado FMH45 se adapta a la localidad de Cartago con $49.05 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Estas tres familias presentan los mayores promedios entre las familias y pueden considerarse como fuentes importantes de vitamina C para consumo humano o procesos de transformación agroindustrial.

Figura 2-10: Biplot de AMMI (CP1 vs CP2) para AA de nueve FMH y un testigo comercial con cuatro ambientes de la región Andina de Nariño



Fuente: el autor

2.6 Conclusiones

La variación de la interacción genotipo por ambiente fue una fuente importante para identificar las familias de medios hermanos que son estables y de adaptación específica. Como es el caso de las Familias FMH25, FMH29 y FMH45, con rendimientos por encima de 12 ton/ha-1, PF por encima de 100g y AA por encima de los 42 mg/100g con adaptación específica a Arboleda.

En cuanto, a las Familias estables cabe destacar a la FMH28, que presenta estabilidad a través de los ambientes para el RTO.

Estas familias podrán ser utilizadas dentro de programas de mejoramiento genético de la especie como parentales o ser entregados a los agricultores o a la industria como cultivares mejorados que pueden contribuir a la sostenibilidad de los sistemas de producción.

2.7 Bibliografía

- Abebe, T., Alamerew, S., & Tulu, L. (2017). Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and its Related Traits in Rainfed Lowland Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes at Fogera and Pawe, Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000272>
- Acacia, D. E. P. D. E., Grande, R. I. O., Sul, D. O., Souza, S. M. De, Higa, A. R., & Stein, P. P. (1991). *Eng.-Agrônomo, M.Sc., CREA n.*
- Al-Naggar, A. M. M., Shafik, M. M., & Musa, R. Y. M. (2020). *Ammi and Gge Biplot Analyses for Yield Stability of Nineteen Maize Ammi and Gge Biplot Analyses for Yield Stability of Nineteen Maize Genotypes Under Different Nitrogen and Irrigation Levels. October.* <http://www.plantarchives.org/20-2/4431-4443> (6172).pdf
- Alejos, G., Monasterio, P., & Rea, R. (2006). Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(3), 369–384.
- Allard, R. W. (1967). *Principios de la mejora genética de las plantas* (Montoya, J). Omega.
- Almanza-Merchán, P. J., Velandia D., J. D., & Tovar L., Y. P. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 222–231. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- Ana Elizabeth Díaz, M., & Brochero, H. L. (2012). Parasitoides asociados al perforador del fruto de las solanáceas neoleucinodes elegantalis (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(1), 50–57.
- Antuna-Grijalva, O., Rincón-Sánchez, F., Gutiérrez-del Río, E., Ruiz-Torres, N. A., & Bustamante-García, L. (2022). Componentes Genéticos De Caracteres Agronómicos Y De Calidad Fisiológica De Semillas En Líneas De Maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 11. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.1.11>
- Ardila, G. H., Fischer, G., & García, J. C. (2015). La poda de tallos y racimos florales afecta la producción de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 24. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3743>
- Arias, D. G., Doria, C. M. M., Ramos, L. R., & Morocho, H. C. N. (2012). Molecular characterization of the polyphenol oxidase gene in lulo (*Solanum quitoense* Lam.)

- var. Castilla. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24(4), 261–272.
<https://doi.org/10.1590/S1677-04202012000400005>
- Bastidas, J., & Cuaspuud, J. (2018). *Comportamiento agronómico de diez familias de medios hermanos de lulo (Solanum quitoense Lam.)* [Universidad de Nariño].
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.12.025%0Ahttp://www.depkes.go.id/resources/download/info-terkini/hasil-risikesdas-2018.pdf%0Ahttp://www.who.int/about/licensing/>
- Bernal Estrada, J. A., Córdoba G, O., Franco, G., Londoño B, M., Rodríguez Osorio, J. E., & Guevara Monroy, N. (1996). *Cultivo del lulo (Solanum quitoense Lam.)*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/21110>
- Bhandari, H. S., Saha, M. C., Mascia, P. N., Fasoula, V. A., & Bouton, J. H. (2010). Variation among half-sib families and heritability for biomass yield and other traits in lowland switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Crop Science*, 50(6), 2355–2363.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0109>
- Bouzerzour, H., & Dekhili, M. (1995). Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Research*, 41(3), 173–178. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00005-B](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00005-B)
- Carvajal, V., Aristizabal, M., & Vallejo, A. (2012). Caracterización del crecimiento del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* SIMS.). *Agron*, 20(1), 77–86.
- Casierra, F., & Aguilar, Ó. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez Quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) harvested at different maturity stages. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal.*, 26(2), 300–307.
- Ceballos, N. (2012). *Evaluación agronómica, molecular e interacción genotipo-ambiente de introducciones de tomate tipo cereza* (Vol. 66). UNIVERSIDAD DE CALDAS.
- Cornelius, J. (1994). Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Nucl. Phys.*, 24, 372–379.
- Coronado, A. C. M., Tovar-León, Y. P., & Coronado, Y. M. (2017). Characterization of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) genetic diversity in the department of Boyaca, Colombia. *Acta Agronomica*, 66(3), 430–435. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.58997>
- Coutiño Estrada, B., Sanchez Grajalez, G., & Vidal Martínez, V. (2008). Selección entre y dentro de familias de hermanos completos de maíz en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2), 115–123.
- Crossa, J., Fox, P. N., Pfeiffer, W. H., Rajaram, S., & Gauch, H. G. (1991). AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and*

- Applied Genetics*, 81(1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/BF00226108>
- Cruz, C. (2012). *Principios de genética cuantitativa* (UFV (ed.); Vol. 1). Universidad Federal de Vicosá.
- Damba, G. (2008). Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuda (*Manihot esculenta* Crantz) [UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA]. In *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* (Vol. 32, Issue 2). <http://pubs.sciepub.com/wjar/2/5/5/index.html>
- DANE. (2015). El Cultivo del Lulo (*Solanum quitoense*) y los efectos del fenómeno del niño en la producción. In *Boletín mensual de insumos y factores asociados a la producción agropecuaria: Vol. Num 42*.
- DANE. (2022). Comportamiento de los precios. *Sistema de Información de Precios Del Sector Agropecuario (SIPSA)*, 1–50. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/bol_17sep_al_23sep_2022.pdf
- De Oliveira, L. A., Da Silva, C. P., Nuvunga, J. J., Da Silva, A. Q., & Balestre, M. (2015). Credible intervals for scores in the AMMI with random effects for genotype. *Crop Science*, 55(2), 465–476. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.05.0369>
- De Vilela, D. M. . (2002). Genética Biométrica e Estadística no Melhoramento de Plantas Perennes. In *Embrapa Informacao Tecnológica*.
- Dos Santos, W., Aguiar, A. V., Souza, D. C. L., Dini, D. G. T., De Souza, F. B., Dalastra, C., Machado, J. A. R., De Sousa, V. A., De Moraes, M. L. T., Freitas, M. L. M., & Sebbenn, A. M. (2018). Genetic variation and effective population size in *Dipteryx Alata* progenies in Pederneiras, São Paulo, Brazil. *Revista Arvore*, 42(3). <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000300010>
- Erkul, A., Ünay, A., & Konak, C. (2010). Inheritance of yield and yield components in a bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) cross. *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 137–140.
- Falconer, D. S., & Mackay Trudy, F. . (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.).
- Fonseca H., M. C., Rodríguez A., J. A., Herrera A., A. O., & Fischer, G. (2013). Caracterización fisicoquímica del fruto de cuque (*Solanum vestissimum* Dunal) durante la maduración. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 31–40. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1276>
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M. (2016). Evaluación

- poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1), 73–85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Gabriel, J., Angulo, A., Velasco, J., & Guzmán, R. (2016). Adaptación de híbridos de tomate indeterminado [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] bajo condiciones de invernadero TT - Adaptation of indeterminate tomato hybrids [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] under greenhouse conditions. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(2), 47–65. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942016000200003&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2_a03.pdf
- Gauch, H. G., Piepho, H. P., & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*, 48(3), 866–889. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0513>
- Gómez, F., Trejo-Téllez, L. I., García-Albarado, C. J., & V, M.-R. (2013). *Lulo (Solanum quitoense Lamarck .) as a new element of the landscape in Mexico : germination and growth on organic substrates. April 2017, 877–887.*
- González Loaiza, D. I., Ordoñez Santos, L. E., Vanegas Mahecha, P., & Vásquez Amariles, H. D. (2014). Changes in physicochemical properties of the fruit of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) harvested at three degrees of maturity. *Acta Agronomica*, 63(1), 11–17.
- Hallauer, A. R., & Carena, M. J. (2012). Recurrent selection methods to improve germplasm in maize. *Maydica*, 57(3–4), 266–283.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. . (2010). Handbook of Plant Breeding. In *Nucl. Phys.* (second edi, Vol. 13, Issue 1).
- Hernández-Bautista, A., Lobato-Ortiz, R., Cruz-Izquierdo, S., García Zavala, J., & Chavez-Servia, J. (2014). Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruce interespecífica de jitomate. *Interciencia*, 39(5), 327–332.
- Holland, J. B., Nyquist, W. E., & Cervantes-Martínez, C. T. (2010). Estimating and Interpreting Heritability for Plant Breeding: An Update. In *Plant Breeding Reviews* (Vol. 22). <https://doi.org/10.1002/9780470650202.ch2>
- Jurado, J., Perez, L., Lagos-Burbano, T. ., & Benavides, C. (2013). *Solanum quitoense* Lam . ON PATTERNS OF *Solanum* spp . *Revissta de Ciencias Agrícolas*, 30(1), 54–64.
- Kizilgeci, F., Albayrak, O., Yildirim, M., & Akinci, C. (2019). Stability evaluation of bread

- wheat genotypes under varying environments by ammi model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9), 6865–6872.
- Kumar, S. R., Arumugam, T., Balakrishnan, S., & Anandakumar, C. R. (2013). Variability in the Segregating Generation of Eggplant for Earliness and Yield. *Nucl. Phys.*, 16(20), 1122–1129. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.1122.1129>
- Lagos, T., Apraez, J., Lagos, L., & Duarte, D. (2015). Comportamiento de 50 familias de medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam bajo selección recurrente. *Temas Agrarios*, 20(2), 19. <https://doi.org/10.21897/rta.v20i2.755>
- Liu, Q., Huang, L., Fu, C., Zhang, T., Ding, W., & Yang, C. (2022). Genotype–environment interaction of crocin in *Gardenia jasminoides* by AMMI and GGE biplot analysis. *Food Science and Nutrition*, July, 1–8. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3003>
- Lobo Arias, M. (2007). Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 40. https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:68
- Lozano del Río, A., Zamora Villa, V., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-Herrera, S., Cruz Lazaro, E., & de la Rosa-Ibarra, M. (2009). Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo ammi y potencial de producción de triticales forrajeros (x *Triticosecale* Wittm.). *Universidad y Ciencia*, 25(1), 81–92. <https://doi.org/10.19136/era.a25n1.222>
- MADR. (2018). *Red de información y comunicación del sector agropecuario en Colombia*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>
- Mandel, J. (1971). A new analysis of variance model for non-additive data. *Technometrics*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00401706.1971.10488751>
- Medina C., C. I., Lobo A., M., & Martínez B., 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. https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num2_art:139
- Mekonnen, Z., & Mohammed, H. (2009). Study on genotype x environment interaction of yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Phytology*, 1(August), 199–205.
- Mishra, P. K., Ram, R. B., & Kumar, N. (2015). Genetic variability, heritability, and genetic advance in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(3), 451–458. <https://doi.org/10.3906/tar-1408-99>
- Monteiro, P. H., De Siqueira, D. L., Chamhum, L. C., Pereira, D. F., & Cecon, P. R. (2013). Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* LAM), em viçosa-

- MG. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1), 131–142.
<https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100016>
- Moreno-maldonado, M., Peña-lomelí, A., & Sahagún-castellanos, J. (2002). Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(3), 231–237.
- Muñoz, J., Rodríguez, L., & Bermudez, L. (2013). Análisis de competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 173–185.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Nahak, S. C., Nandi, A., Sahu, G. S., Tripathy, P., Dash, S. K., & Patnaik, A. (2018). Studies on variability, heritability and genetic advance for yield and yield contributing characters in chilli (*Capsicum annum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2506–2510.
- Nduwumuremyi, A., Melis, R., Shanahan, P., & Theodore, A. (2017). Interaction of genotype and environment effects on important traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop Journal*, 5(5), 373–386. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.02.004>
- Nyquist, W. E., & Baker, R. J. (2008). Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(3), 235–322.
- Ochoa V., L. M., Balaguera, H. E., Ardila, G., Pizón, E. hernanado, & Álvarez, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia) in the Municipality of San Antonio del Tequendama (Colombia) Crescimento e desenvolvimento do fruto de lulo. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera*, 17(3), 347–359.
- Ordóñez, C. U., Gómez, H. O., Ordóñez J., H. R., & Lagos B., T. C. (2012). Evaluación de un sistema de propagación vegetativa mediante esquejes en Lulo silvestre (*Solanum hirtum* Vahl, *S. marginatum* L.f., *S. sessiliflorum* Dun, *S. mammosum* L. y *S. umbellatum* Mill. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 29–41.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104107>
- Ortolá, M. (2020). Determinación de la tasa respiratoria de frutas. In *Universidad Politécnica de Valencia*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/145648>
- Oyervides G., A., Mariaca P., J. M., De León C., H., & Reyes V., M. (2016). Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.15517/am.v4i0.25163>
- Parra Coronado, A. (2015). Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba

- (*Psidium guajava* L.). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 314. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3223>
- Paul, S., Khanuja, S. P. S., Shasany, A. K., Gupta, M. M., Darokar, M. P., Saikia, D., & Gupta, A. K. (2010). Enhancement of artemisinin content through four cycles of recurrent selection with relation to heritability, correlation and molecular marker in *Artemisia annua* L. *Planta Medica*, 76(13), 1468–1472. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1240940>
- Peña-Lomelí, A., Guerrero-Ramos, H., Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., & Magaña-Lira, N. (2013). Selección Temprana en Familias de Medios Hermanos Maternos de Tomate de Cáscara de la Raza Puebla. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 19(1), 5–13. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.18>
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. ., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., Márquez-Sánchez, F., Cervantes-Santana, T., & Santiaguillo-Hernández, J. . (2008). Parámetros genéticos en la variedad chf1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 5–11. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.11.046>
- Piepho, H. P., & Möhring, J. (2007). Computing heritability and selection response from unbalanced plant breeding trials. *Genetics*, 177(3), 1881–1888. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.074229>
- Pistorale, S. M., Abbott, L. A., & Andrés, A. (2008). Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(3), 259–264. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202008000300003>
- Poehlman, J. ., & Sleper, D. A. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas* (2nd ed.).
- Ramírez, F., Kallarackal, J., & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238(April), 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Riascos, M., Santacruz, A., Lagos, T., & 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. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiUyf6936nvAhUwzlkKHe2SB1QQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5104113.pdf&usg=AOvVaw1d9dPBJuN1pis2juY2fDjV>

- Rodríguez-González, R. E., Ponce-Medina, J. F., Rueda-Puente, E. O., Avendaño-Reyes, L., Paz Hernández, J. J., Santillano-Cazares, J., & Cruz-Villegas, M. (2011). Interacción genotipo - ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 543–558.
- Rojas, C. M., Muñoz, L. A., Terán, V., Prado, F., & Quiñónez, M. A. (2010). Evaluación de patógenos en clones de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Acta Agronómica*, 59(2), 144–154. http://168.176.5.108/index.php/acta_agronomica/article/view/16273/17190
- Rumball, W., & Rae, A. L. (1968). The Effect of Selection Intensity on Selection Response in *Tribolium*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 11(4), 745–756. <https://doi.org/10.1080/00288233.1968.10422406>
- S. Muniappan, Saravanan, K., & B. Ramya. (2010). Studies on Genetic Divergence and Variability For Certain Economic Characters in Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(4), 462–465. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ejpb&volume=1&issue=4&article=017&type=pdf>
- Salazar-González, C., & Betancourth-García, C. (2017). Reacción de genotipos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a *Meloidogyne* spp. En condiciones de campo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 295–306. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:629
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. (2017). Evaluation of Genotype x Environment Interaction in Rice Based on AMMI Model in Iran. *Rice Science*, 24(3), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Silva-Díaz, R., García-Mendoza, P., Faleiro-Silva, D., & De Souza, C. L. (2018). Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. *Bioagro*, 30(1), 67–77.
- Silva, W., Gómez, P., Viera, W., Sotomayor, A., Viteri, P., & Ron, L. (1993). Selección de líneas promisorias de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) para calidad de fruta. *ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 3(1), 23–30. <http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestcalidad/index.php/revista/article/view/27>
- Sohail, A., Rahman, H., Hussain, Q., Hadi, F., Ullah, U., & Khan, W. (2018). Genetic Variability, Heritability and Correlation studies in Half-Sib Recurrent families of CIMMYT Maize population CZP-132011. *ARPN Journal of Agricultural and Biological*

- Science*, 13(April 2019), 106–112.
- Sreelathakumary, I., & Rajamony, L. (2004). Variability, heritability and genetic advance in chilli (*Capsicum annum* L.). *Journal of Tropical Agriculture*, 42(2), 35–37.
- Stommel, J. R., Camp, M. J., Dumm, J. M., Haynes, K. G., Luo, Y., & Schoevaars, A. M. (2016). Heritability of fresh-cut fruit quality attributes in capsicum. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141(4), 308–314.
<https://doi.org/10.21273/jashs.141.4.308>
- Szareski, V. J., Carvalho, I. R., Kehl, K., Levien, A. M., Nardino, M., Demari, G. H., Lautenchleger, F., de Souza, V. Q., Pedó, T., & Aumonde, T. Z. (2017). Univariate, multivariate techniques and mixed models applied to the adaptability and stability of wheat in the Rio Grande do Sul State. *Genetics and Molecular Research*, 16(3).
<https://doi.org/10.4238/gmr16039735>
- Terfa, G. N., & Gurmu, G. N. (2020). Genetic variability, heritability and genetic advance in linseed (*Linum usitatissimum* L) genotypes for seed yield and other agronomic traits. *Oil Crop Science*, 5(3), 156–160. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.08.002>
- Vallejo, F., & Estrada, E. (2002). *Mejoramiento Genético de plantas* (U. N. de Colombia (ed.); Vol. 1, Issue 1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Verma, A., Kumar, V., Kharab, A. S., & Singh, G. P. (2019). AMMI Model to Estimate Gx E for Grain Yield of Dual Purpose Barley Genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(05), 1–7.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.805.001>
- Villanueva Verduzco, C., Ayala Esteban, J. A., Villanueva-Sánchez, E., Sahún Castellanos, J., Sánchez Cabrera, I., Chaning Merrick, L., & Irizar Garza, M. B. G. (2020). Changes of genetic variances and heritability by effect of selection in a Mexican local variety of Squash. *J Appl Biotechnol Bioeng*, 7(5), 225–230.
- Wessel-Beaver, L., & Scott, J. W. (2019). Genetic Variability of Fruit Set, Fruit Weight, and Yield in a Tomato Population Grown in Two High-temperature Environments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(5), 867–870.
<https://doi.org/10.21273/jashs.117.5.867>
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597–605.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>

Capítulo 3. Heredabilidad de componentes del fruto y rendimiento en Familias de Medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam.

3.1 Resumen

Solanum quitoense Lam. es un frutal de gran importancia para el sur de Colombia, dada su demanda a nivel nacional y su potencial en el mercado internacional. No existe información sobre componentes de varianza y heredabilidad, aspectos fundamentales para evaluar el progreso de la selección. Los objetivos fueron estimar la heredabilidad del rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez (IM) en 50 familias de medios hermanos (50 FMH) y en 10 FMH, producto del primer ciclo de selección recurrente. Las heredabilidades en sentido estricto (h_e^2) a través de cuatro localidades en las 50 FMH fueron bajas para RTO (10%), IM (12%) y para PF (29%), mientras que para SST fue alta (52%). La heredabilidad entre medias de FMH ($h_{m_FMH}^2$) fue baja para RTO (10%) e IM 17% y alta para PF (40%) y SST (43%). Las 50 FMH mostraron una h_e^2 alta en RTO en las localidades de Arboleda (92%), Cartago (98%), Tangua (93%) y La Unión (78%). En SST fue alta en las cuatro localidades con valores que oscilaron entre 57 y 97%. Para PF, fue moderada en Cartago (38%), Tangua (37%), La Unión (40%) y Arboleda (18%), y en IM fue alta en Tangua (76%) y La Unión (69%) y bajas en Arboleda (10%) y Cartago (29%). La h_e^2 del RTO (41%), PF (88%), SST (77%) e IM (87%) en las 10 FMH a través de las cuatro localidades presentó valores superiores al ensayo de las 50 FMH a través de localidades. La h_e^2 para RTO fue alta en

Arboleda (80%), moderados en Cartago (35%) y Tangua (44%) y baja en La Unión (11%). En el PF se mostró alta en Arboleda (79%), Tangua (83%) y La Unión (84%), y moderada en Cartago (43%).

Palabras clave: rendimiento, peso de fruto, SST, IM, progreso genético, varianza aditiva.

3.2 Abstract

Solanum quitoense Lam. it is a fruit of great importance for southern Colombia, given its demand at the national level and its potential in the international market. There is no information on components of variance and heritability, fundamental aspects to evaluate the progress of the selection. The objectives were to estimate the heritability of yield, fruit weight (FW), total soluble solids (TSS) and maturity index (MI) in 50 families of half siblings (50 HS) and in 10 HS, product of the first Recurring selection cycle. The heritabilities in the strict sense (h_e^2) across four localities in the 50 HS were low for yield (10%), MI (12%) and for FW (29%), while for TSS it was high (52%). The heritability between means of HS ($h_{m,HS}^2$) was low for yield (10%) and MI 17% and high for FW (40%) and TSS (43%). The 50 HS shows a high h_e^2 in yield in the towns of Arboleda (92%), Cartago (98%), Tangua (93%) and La Unión (78%). In TSS it was high in the four localities with values that ranged between 57 and 97%. For FW, it was moderate in Cartago (38%), Tangua (37%), La Unión (40%) and Arboleda (18%), in MI it was high in Tangua (76%) and La Unión (69%) and low in Arboleda (10%) and Cartago (29%). The h_e^2 of the yield (41%), FW (88%), TSS (77%) and MI (87%) in the 10 HS across the four localities presented values higher than the test of the 50 HS through localities. The h_e^2 for yield was high in Arboleda (80%), moderate in Cartago (35%) and Tangua (44%) and low in La Unión (11%). In the FW it was high in Arboleda (79%), Tangua (83%) and La Unión (84%), and moderate in Cartago (43%).

Keywords: yield, fruit weight, SST, MI, genetic progress, additive variance.

3.3 Introducción

La investigación y el mejoramiento genético de la especie *Solanum quitoense* aún es incipiente, especialmente en aspectos básicos para la selección como son el estudio de parámetros genéticos relacionados con los componentes de varianza y la heredabilidad en caracteres de importancia económica y agronómica como son el rendimiento, peso de fruto y los sólidos solubles totales, entre otros.

En lulo se ha propuesto encontrar un arquetipo de planta que permita orientar la selección de materiales genéticos; además de los caracteres antes mencionados, se deben buscar atributos relacionados con la ausencia de espinas, hábito de crecimiento erecto y cuajamiento elevado de frutos. Es importante para los procesos de selección conocer la herencia y heredabilidad de los caracteres de interés para su inclusión en programas de mejoramiento de la especie (Medina C. et al., 2009).

La heredabilidad fue definida originalmente por Lush como la proporción de la varianza fenotípica entre los individuos de una población que se debe a efectos genéticos heredables (Nyquist & Baker, 2008).

En el mejoramiento genético de plantas, se han identificado estimaciones de heredabilidad en poblaciones referencia, por ejemplo, la heredabilidad media de familias, que es la proporción de la varianza fenotípica entre medias familiares que se debe a los efectos genéticos familiares y la heredabilidad en sentido amplio, que es la proporción de variación fenotípica que se debe a todos los efectos genéticos (Holland et al., 2010). En cuanto a la heredabilidad en sentido estrecho se define como la proporción de varianza fenotípica entre los individuos de una población que se debe a efectos genéticos aditivos. Del mismo modo, la heredabilidad en sentido amplio se define como la proporción de la varianza fenotípica que es atribuible a todos los factores genéticos que afectan la expresión del fenotipo. Este tipo de heredabilidad incluye la suma de efectos aditivos, de dominancia y epistáticos. Con el uso de la variación entre familias de medios hermanos se puede obtener información acerca de la heredabilidad en sentido estricto (Bhandari et al., 2010; Piepho & Möhring, 2007)

En muchos casos, una parte importante de la varianza se puede atribuir a factores genéticos, teniendo menos importancia el ambiente, en otros, el ambiente puede tener mayor impacto sobre la varianza fenotípica de una población. Poehlman & Sleper (2003), consideran que la heredabilidad es la proporción de la varianza fenotípica de una progenie que es heredada. Si la varianza genética de una progenie es grande con respecto a la varianza ambiental, entonces la heredabilidad será alta, en caso contrario, la heredabilidad será baja. La selección resulta más eficaz cuando la relación varianza genética en función de la varianza ambiental es alta.

Por otro lado, la magnitud relativa de los componentes de la varianza genética de tipo aditiva, de dominancia y de epistasia, indica si la población base tiene suficiente variabilidad genética y cuál es el método de mejoramiento más apropiado para aplicar. Si la varianza aditiva supera a la varianza de dominancia, es preferible mejorar mediante métodos de selección, y si es, al contrario, mejorar por hibridación. “La varianza aditiva es la que se hereda de los padres a su descendencia solo por transmisión de genes y determina la respuesta a la selección. La existencia de varianza aditiva es deseable en programas de selección recurrente que tienen como objetivo acumular genes favorables para mejorar los rasgos deseables en una población *per se*” (Villanueva Verduzco et al., 2020).

En *Solanum quitoense* Lam., no se han reportado estudios de heredabilidad, sin embargo, conocer la magnitud de este parámetro permite sentar las bases genética para su mejora genética de la especie (Terfa & Gurmu, 2020).

Muniappan et al. (2010) & Kumar et al. (2013) afirman que las estimaciones de parámetros genéticos para caracteres agronómicos han sido reportadas en diferentes especies agrícolas por diversos investigadores, lo cual ha permitido cambios de gran importancia en caracteres económicos y en el desarrollo de cultivares acorde con las necesidades del agricultor y consumidor final. En este sentido, la estimación de la variabilidad genética en cualquier población es fundamental para conocer la respuesta a la selección, así como el progreso genético.

En solanáceas relacionadas con el lulo, como algunas del género *Capsicum*, se ha encontrado que la heredabilidad en sentido amplio en la calidad de fruto recién colectado fue de moderada a baja, por tanto, limita el mejoramiento de esta característica (Stommel et al., 2016). En otro estudio de *Capsicum annuum* L., se encontró que la heredabilidad fue más alta para el peso de fruto seguido por el número de frutos por planta y el número de frutos por planta afectados por el barrenador y que el máximo avance genético se observó en el caso de número de plantas afectadas por el enrollamiento de la hoja por parcela, seguido del peso del fruto y del barrenador del fruto por planta (Nahak et al., 2018). En 200 familias de medios hermanos de *Physalis ixocarpa*, la heredabilidad estimada de siete caracteres relacionados con los componentes del rendimiento fue alta, con valores que oscilaron entre 35,3 y 66,4% (Moreno-maldonado et al., 2002).

Hallauer et al. (2010) expresan que la selección de FMH puede darse entre y dentro de familias. La selección entre familias se basa en las medias de las FMH que son comparadas con la media de la población o con la media de todas las FMH. La varianza genética entre FMH (σ_g^2) corresponde a la covarianza entre medios hermanos (\widehat{CovMH}) y puede ser usada para estimar la varianza genética aditiva (σ_A^2), así:

$$\sigma_g^2 = \widehat{CovMH} = 1/4\hat{\sigma}_A^2 \quad (3.1)$$

Si se asume que el coeficiente de endogamia (F) es igual a cero y ausencia de epistasis, entonces: $\hat{\sigma}_A^2 = 4\sigma_g^2$. Ahora, la heredabilidad en sentido estricto (h_e^2) (Falconer & Mackay Trudy, 1996), corresponde a:

$$h_e^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\sigma_F^2} \quad (3.2)$$

Dónde el fenotipo es la media de un genotipo en a ambientes y r repeticiones por ensayo. El fenotipo tiene una varianza que se denota como σ_F^2 (Holland et al., 2010; Nyquist & Baker, 2008) y es igual a:

$$\sigma_F^2 = \hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_{ga}^2}{a} + \frac{\hat{\sigma}_a^2}{ra} \quad (3.3)$$

En este caso, $\hat{\sigma}_{ga}^2$ es la varianza de la interacción genotipo x ambiente, $\hat{\sigma}_a^2$ es la varianza del error residual para una serie equilibrada de a ambientes dispuestos bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con r repeticiones.

Lo más importante es que la heredabilidad en sentido amplio (H^2) o estricto (h_e^2), se puede utilizar para predecir la respuesta a la selección, dada por $R = h_e^2 \times DS$ (o $H^2 \times DS$), donde DS es el diferencial de selección, que es la desviación del valor fenotípico medio de los individuos seleccionados como una expresión de los parentales respecto a la media de la población (Falconer & Mackay Trudy, 1996), y esto es quizá el principal uso para el fitomejorador. Tanto el desarrollo de nuevos cultivares como la recomendación de variedades recién lanzadas requieren que se haga una selección entre un conjunto mayor de genotipos candidatos, por lo que la estimación de los valores genotípicos están en el corazón de cualquier esfuerzo de mejoramiento (Gauch et al., 2008)

Con base en lo anterior, la hipótesis que se planteó en este trabajo fue que en la población de referencia existe la suficiente variabilidad genética para llevar a cabo procesos de selección y obtener ganancia genética que contribuyan al mejoramiento genético. De modo que, los objetivos de este trabajo fueron estimar la heredabilidad en sentido estricto en 50 familias de medios hermanos (50FMH) de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y establecer la heredabilidad en sentido estricto en 10 familias de medios hermanos seleccionadas de las 50FMH en caracteres relacionados con el rendimiento y la calidad de fruto.

3.4 Materiales y Métodos

Localización. Las 50 FMH fueron evaluadas en cuatro localidades en los municipios de San Pedro de Cartago ubicado a 1°33'03"LN, 77°07'08"LO y 1750 msnm, Tangua a 1°05'42"LN, 77°23'39"LO y 2000 msnm, Arboleda a 5°35'00"LN, 75°09'00"LO y 2100 msnm y La Unión a 1°36'18"LN y 77°08'01"LO y 1726 msnm, localidades que se encuentran en la región alto Andina del departamento de Nariño. Con base en esta evaluación, se seleccionaron diez familias, las cuales fueron evaluadas en las siguientes localidades: Arboleda situado a 01°30'45,0"LN, 77°08'42,0"LO a 2.100 msnm, con una temperatura media de 19°C; San Pedro de Cartago en las coordenadas 01°32'24,8"LN, 77°08'07,7"LO, altitud de 2.396 msnm y temperatura media de 18°C; Tangua a 01°3'44,74"LN, 77°25'12,26"LO, 2.420 msnm y una temperatura media de 16°C; y La

Unión a 01°29'3,7"LN, 77°13'47,3"LO, 1.405 msnm con una temperatura promedio de 19°C.

Diseño experimental. Cada ensayo se estableció bajo un diseño en Bloques Completos al Azar con las 50 FMH como tratamientos. El ensayo de las 50 FMH (50FMH) se hizo con tres repeticiones, mientras que el ensayo de las selecciones (10FMH) con cuatro. En 50FMH, la parcela experimental estuvo formada por cuatro plantas con distancia entre ellas de 2,5m. La separación entre surcos (parcelas) fue de 3m. El área de la parcela experimental fue de 30m² y la superficie de la parcela útil de 22,5m², que correspondieron a tres plantas centrales, sobre las cuales se realizaron las evaluaciones. La parcela experimental del 10FMH se formó con un surco de seis plantas sembradas a distancias de siembra de 2,5m x 3 m, cuya área fue de 45m² con una parcela útil de 30m², correspondiente a las 4 plantas centrales. En el ensayo 10FMH, se tuvo como tratamiento testigo al cultivar Castilla.

Variables evaluadas. Las variables relacionadas con el potencial productivo fueron peso de fruto (PF) en gramos y rendimiento (RTO) en t.ha⁻¹. Aquellas relacionadas con calidad de fruto se tomaron con base en el promedio de 12 frutos maduros provenientes de la parcela útil, evaluando: acidez titulable (AC) a través del método de titulación potenciométrica, sólidos solubles totales (SST) obtenidos con el método refractométrico y corregidos por la acidez titulable mediante la ecuación $SST_c = 0,194 \times AC + SST$, donde $SST_c = SST$ corregidos y finalmente, el índice de madurez (IM), calculado mediante la relación entre SST_c y AC.

Análisis estadístico. La información obtenida en cada ensayo se sometió al Análisis de Varianza combinado (ANDEVA) con el Software SAS® 9.4, bajo un modelo mixto, el cual se describe a continuación:

$$X_{ijk} = \mu + L_k + R(L)_{j(k)} + G_i + (L \times G)_{ki} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.4)$$

Dónde: X_{ijk} = variable de respuesta en el genotipo i-ésimo, L_k = efecto aleatorio de la localidad k-ésima (k= 1, 2, 3, 4), $R(L)_{j(k)}$ = efecto aleatorio de la repetición j-ésima dentro de la localidad k-ésima ($j_{50FMH} = 1, 2, 3$; $j_{10FMH} = 1, 2, 3, 4$), G_i = efecto aleatorio del genotipo i-ésimo en las 50FMH ($i_{50FMH} = 1, 2, \dots, 50$) y de efecto fijo en las 10FMH ($i_{10FMH} = 1, 2, \dots, 11$), (L

$\times G)_{ki}$ = efecto de la interacción de la localidad k-ésima por el genotipo i-ésimo, ϵ_{ijk} = error experimental asociado al genotipo i-ésimo, localidad k-ésima, repetición j-ésima dentro de la localidad k-ésimo

Con base en el modelo antes descrito, la estructura del Análisis de Varianza para obtener la esperanza de los cuadrados medios para determinar los componentes de varianza genética, fenotípica y ambiental, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 3-1: El ANDEVA bajo el modelo mixto y las esperanzas de los cuadrados medios (ECM) para obtener los componentes de varianza

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>ECM</i>	<i>Fc</i>
Ambientes (<i>a</i>)	<i>a-1</i>	CM2	$\sigma^2 + g\sigma_r^2 + gr\sigma_a^2$	CM2/CM4
Bloques(<i>r</i>)/ambientes (<i>a</i>)	<i>a(r-1)</i>	CM1	$\sigma^2 + g\sigma_r^2$	
FMH (<i>g</i>)	<i>g-1</i>	CM3	$\sigma^2 + rl\sigma_{ga}^2 + ar\sigma_g^2$	CM3/CM4
FMH \times <i>a</i> (<i>ga</i>)	<i>(a-1)(g-1)</i>	CM4	$\sigma^2 + rl\sigma_{ga}^2$	CM4/CM5
Error	<i>a(g-1)(r-1)</i>	CM5	σ^2	

a=ambientes, $l=g/(g-1)$, *r*=bloques, *g*= genotipos (FMH), FMH = familias de medios hermanos.

La estimación de los componentes de varianza genotípica y el componente de interacción genotipo por ambiente se calculó con base en Cruz (2012), y corresponde a:

$$\sigma_g^2 = \frac{CM3 - CM4}{ar} \quad (3.5)$$

$$\hat{\sigma}_{ga}^2 = \frac{CM4 - CM5}{r} \times \frac{g-1}{g} \quad (3.6)$$

La varianza fenotípica se estimó en función del cuadrado medio de las FMH (CM3):

$$\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_{ga}^2}{a} + \frac{\hat{\sigma}_a^2}{ra} \quad (3.7)$$

Donde $\hat{\sigma}_F^2$ es la varianza fenotípica estimada.

Luego, la heredabilidad estimada en sentido estrecho (\hat{h}_e^2) considerando la varianza aditiva (σ_A^2), se obtuvo de la ecuación (3.8):

$$\hat{h}_e^2 = \frac{\sigma_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_{ga}^2}{a} + \frac{\hat{\sigma}_a^2}{ra}} \quad (3.8)$$

Donde σ_A^2 es la varianza aditiva que es igual a cuatro veces la varianza genotípica ($\hat{\sigma}_g^2$) o varianza entre FMH, estimada como: $\sigma_A^2 = 4\hat{\sigma}_g^2$, dado que $\hat{\sigma}_g^2 = 1/4\sigma_A^2$.

Debido a que σ_A^2 es sobreestimada y el progreso genético esperado podría ser más grande que el progreso observado (Hallauer et al., 2010), dado que el denominador no se multiplica por cuatro, entonces la estimación correcta de la heredabilidad, en este caso, sería: $h_e^2 = 1/4\hat{h}_e^2$ (Ecuación 3.8).

En aquellas variables donde la interacción FMH x a (*ga*) fue significativa, en cada una de las localidades se estimaron los componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto acorde con Hallauer et al. (2010).

Acorde con Hallauer et al. (2010) el progreso genético obtenido entre FMH, es igual a: $\Delta G = k\left(\frac{1}{4}\right)\sqrt{\sigma_F^2}h_e^2$. La ganancia genética (GS) en función de la fracción seleccionada, se obtuvo así: $GS = kDS h_e^2$, donde k es el diferencial de selección con un 20% de intensidad de selección, equivalente a 1,139 ((Allard, 1967; Hallauer et al., 2010), DS es la diferencia entre la media de la fracción seleccionada y la media de la población de referencia: $DS = \bar{x}_S - \bar{x}_O$, donde: \bar{x}_O = media de X en la población original (50 FMH) y \bar{x}_S = media de X en la fracción seleccionada y h_e^2 es la heredabilidad en sentido estrecho.

Los coeficientes de variación genético (CV_g), fenotípico (CV_f) y ambiental (CV_a) se calcularon según Pistorale et al. (2008), así:

$$CV_g = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}_o} \times 10 \quad (3.9)$$

$$CV_F = \frac{\sqrt{\sigma_F^2}}{\bar{X}_o} \times 100 \quad (3.10)$$

$$CV_a = \frac{\sqrt{\sigma_a^2}}{\bar{X}_o} \times 100 \quad (3.11)$$

3.5 Resultados y Discusión

El análisis de varianza combinado (Tabla 2) mostro significancia para todos los caracteres evaluados entre las 50 FMH de lulo (*S. quitoense*) y en la interacción FMH por ambiente (**ga**). En el ensayo de las 10 FMH, los caracteres peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST) e índice de madurez (IM) indicaron valores significativos entre las FMH, y el rendimiento (RTO) y PF obtuvieron valores significativos en la interacción FMH por ambiente (**ga**). En las 10 FMH para RTO, no existieron diferencias significativas entre FMH, de modo que existe un alto grado de influencia del componente ambiental y un bajo componente genético en la expresión del fenotipo. En las demás variables donde se presentaron diferencias significativas entre FMH, la variación puede explicarse por el componente genético.

Tabla 3-2: Cuadrados medios del ANDEVA combinado para rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), solidos solubles totales (SST), acidez titulable (AC) e índice de madurez (IM) evaluados en 50 FMH y 10 FMH provenientes de un primer ciclo de selección recurrente en la región natural andina del departamento de Nariño

FV (50 FMH)	GL	RTO	PF	SST	IM
Ambientes (a)	3	577,92*	15455,74*	111,20*	6,20*
Bloques (r)/ambientes (a)	8	2,14*	307,86	0,52*	0,08
FMH (g)	49	11,81*	458,52*	2,39*	0,24*
FMH x a (ga)	141	11,33*	274,12*	1,34*	0,20*
Error	321	0,52	208,15	0,24	0,09
CV (%)		12,83	19,90	4,97	10,48
R ²		0,96	0,62	0,89	0,67
Media		5,60	72,51	9,83	2,90

FV (10 FMH)	GL	RTO	PF	SST	IM
Ambientes (a)	3	388,43*	635,01*	9,76*	0,69*
Bloques (r)/ambientes (a)	12	38,82*	127,78*	1,71*	0,45*
FMH (g)	10	15,65	863,11*	2,03*	0,98*
FMH x a (ga)	30	9,38*	106,22*	0,46	0,13
Error	120	4,93	66,92	0,47	0,10
CV (%)		24,71	8,25	7,32	10,48
R ²		0,78	0,66	0,59	0,64
Media		8,98	99,20	9,40	2,99

* = efectos significativos al $\alpha = 0,05$; CV = coeficiente de variación; R² = coeficiente de determinación.

Acorde con los criterios planteados por De Vilela (2002), en las 50 FMH (Tabla 3), la heredabilidad en sentido estricto (h_e^2) tiene valores bajos para el RTO (5,37%), moderados para PF (41.81%), SST (50%) e IM (19%). Lo anterior, corrobora los resultados del ANDEVA combinado (Tabla 2) que mostró diferencias entre FMH. A valores bajos de heredabilidad, se tendrán progresos lentos en la selección (Erkul et al., 2010), si ésta se hace a través de los cuatro ambientes antes considerados. Las heredabilidades moderadas, indican mayores probabilidades de mejorar los caracteres considerados en las 50 FMH de lulo (*S. quitoense*).

Tabla 3-3: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto y realizada en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez del fruto (IM) de 50 FMH de lulo evaluados a través de cuatro ambientes de la regional natural Andina del departamento de Nariño

Parámetro	RTO	PF	SST	IM
σ_g^2	0,04	15,37	0,09	0,00
σ_A^2	0,16	61,47	0,35	0,01
σ_{ga}^2	2,65	16,16	0,27	0,03
σ_F^2	0,75	36,75	0,17	0,02
σ_a^2	0,52	208,15	0,24	0,09
h_e^2	5,37	41,81	50,04	18,97
CV _g	3,57	5,41	3,01	1,99
CV _A	7,14	10,81	6,02	3,98
CV _F	15,42	8,36	4,25	4,57

Parámetro	RTO	PF	SST	IM
CV _a	12,83	19,90	4,97	10,48
Mo	5,60	72,51	9,83	2,90
Ms	7,14	80,07	10,52	3,13
DS	1,54	7,56	0,69	0,23
ΔG	0.01	0.72	0.06	0.01
ΔG(%)	0.24	1.00	0.61	0.25
GS	0.09	3.60	0.39	0.05

σ_a^2 = Varianza ambiental; σ_g^2 = varianza genética; σ_A^2 = varianza aditiva; σ_{ga}^2 = varianza de la interacción FMH x ambiente; h_e^2 = heredabilidad en sentido estrecho; CV_g = coeficiente de variación genética; CV_A = coeficiente de variación aditivo; CV_F = coeficiente de variación fenotípico; CV_a = coeficiente de variación ambiental; Mo = media de las 50 FMH; Ms = media de la fracción seleccionada; DS = diferencial de selección; GS = ganancia genética; ΔG = incremento genético; ΔG(%) = (ΔG/Mo)*100.

Moreno-Maldonado et al. (2002) indican que los valores de varianzas aditivas σ_A^2 tienen sentido al ser confrontadas con las estimaciones de otras poblaciones. Esto no es posible aplicarlo en lulo, dado que no se tienen estudios disponibles para hacer este tipo de contraste; sin embargo, para estos autores, utilizar los valores en una sola población da lugar a conclusiones erradas, “por lo que es preferible comparar los coeficientes de variabilidad genética aditiva (CV_A) de los caracteres estudiados”. Una menor variabilidad genética aditiva está dada por bajos CV_A. Los caracteres con bajos CV_A, limitan la selección de familias de medios hermanos maternos o hermanos completos con miras a explotar los componentes de varianza aditiva (Hallauer et al., 2010).

El ΔG máximo lo obtuvo el PF (0,72), seguido de SST (0,06), RTO (0,01) e IM (0,01), estableciendo que las 50 FMH tienden a incrementar dichos caracteres, por lo tanto, la población seleccionada permitirá avanzar en 0,24% el RTO, 1% para el PF, 0,61% para SST y 0,25% para el IM. De ahí que se prevé un incremento por cada ciclo de selección dentro de la población de 50 FMH de 0.09 t.ha⁻¹ para el RTO, de 3,60g para el PF, 0.39°Brix para los SST y 0,05 unidades en el IM. Por otro lado, para el PF se observó una mayor h_e^2 junto con un alto ΔG, lo que puede deberse a la acción de genes aditivos, así que la selección sería efectiva para el mejoramiento de este carácter (Mishra et al., 2015).

Dado que la interacción FMH x ambiente fue significativa en todas las variables del ensayo de las 50 FMH, y solo en RTO y PF en el ensayo de las 10 FMH (Tabla 2), en seguida, se discuten y analizan los componentes de varianza y heredabilidad dentro de cada una de las localidades. En el RTO los valores de h_e^2 fueron altos, por encima del 70% (Tablas 4 y 5), lo cual indica un alto componente genético en la expresión de esta variable (Sohail et al., 2018). Los CV_A fueron bajos para Arboleda (6,02%) y Tangua (6,75%), y altos para Cartago (29,51%) y La Unión (36,87%) (Tablas 4 y 5). Estos resultados permiten establecer que el ambiente juega un papel fundamental en la heredabilidad del rendimiento, por lo tanto, sería recomendable estratificar ambientes (Oyervides G. et al., 2016) para la selección de genotipos de lulo por rendimiento.

Tabla 3-4: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez del fruto (IM) de 50 FMH de lulo evaluados en Arboleda y Cartago, departamento de Nariño

Par	Arboleda				Cartago			
	RTO	PF	SST	IM	RTO	PF	SST	IM
σ_a^2	0,46	190,61	0,17	0,12	0,77	284,70	0,32	0,09
σ_g^2	1,75	13,50	0,07	0,004	9,90	55,96	0,22	0,01
σ_A^2	7,01	53,99	0,29	0,02	39,61	223,86	0,88	0,05
σ_F^2	2,21	204,11	0,24	0,13	10,68	340,67	0,54	0,10
$h_e^2(\%)$	92,0	18,0	57,0	10,0	98,0	38,0	68,0	29,0
CV_a	10,48	23,32	4,61	12,24	12,64	21,69	6,19	11,59
CV_g	20,50	6,21	3,03	2,29	45,26	9,62	5,12	4,19
CV_A	6,02	28,98	0,30	0,36	29,51	41,19	0,73	0,35
Mo	6,46	59,19	8,95	2,85	6,95	77,80	9,13	2,63
Ms	8,50	74,15	9,49	3,21	12,08	93,55	9,78	2,93
DS	2,04	14,96	0,54	0,36	5,13	15,75	0,65	0,30
ΔG	0,39	0,73	0,08	0,01	0,91	2,00	0,14	0,03
$\Delta G(\%)$	6,03	1,24	0,89	0,36	13,12	2,57	1,56	0,99
GS	2,14	3,07	0,35	0,04	5,73	6,82	0,50	0,10

Par = parámetro; σ_a^2 = varianza ambiental; σ_g^2 = varianza genética σ_A^2 = varianza aditiva; σ_F^2 = varianza fenotípica; h_e^2 = heredabilidad en sentido estrecho (Nyquist y Baker, 1991); CV_g = coeficiente de variación genética; CV_a = coeficiente de variación ambiental; CV_F = coeficiente de variación fenotípico; Mo = media de las 50 FMH; Ms = media de la fracción seleccionada; DS = diferencial de selección; GS = ganancia genética; ΔG = incremento genético; $\Delta G(\%) = (\Delta G/Mo)*100$.

Tabla 3-5: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable e índice de madurez del fruto (IM) de 50 FMH de lulo evaluados en Tangua y La Unión, departamento de Nariño

<i>Par</i>	<i>Tangua</i>				<i>La Unión</i>			
	<i>RTO</i>	<i>PF</i>	<i>SST</i>	<i>IM</i>	<i>RTO</i>	<i>PF</i>	<i>SST</i>	<i>IM</i>
σ_a^2	0,48	114,67	0,17	0,06	0,30	256,05	0,30	0,10
σ_g^2	1,93	22,41	0,49	0,04	0,36	56,06	3,82	0,08
σ_A^2	7,73	89,64	1,95	0,25	1,42	224,23	15,28	0,31
σ_F^2	2,41	137,08	0,66	0,13	0,66	312,10	4,12	0,18
$h_e^2(\%)$	93,0	37,0	90,0	76,0	78,0	40,0	97,0	69,0
CV _a	11,05	12,84	3,92	8,17	25,05	23,76	5,13	10,21
CV _g	22,23	5,68	6,60	8,28	27,05	11,12	18,25	8,87
CV _A	6,75	15,45	1,04	0,56	36,87	26,24	18,96	13,52
Mo	6,25	83,38	10,58	3,04	2,20	67,34	10,71	3,11
Ms	8,28	93,63	11,78	3,54	3,34	85,7	12,38	3,57
DS	2,03	10,25	1,20	0,50	1,14	18,36	1,67	0,46
ΔG	0,41	1,23	0,21	0,08	0,18	2,01	0,56	0,08
$\Delta G(\%)$	6,58	1,48	1,97	2,57	8,20	2,99	5,23	2,68
GS	2,15	4,32	1,23	0,43	1,01	8,36	1,85	0,36

Par = parámetro; σ_a^2 = varianza ambiental; σ_g^2 = varianza genética σ_A^2 = varianza aditiva; σ_F^2 = varianza fenotípica; h_e^2 = heredabilidad en sentido estrecho (Nyquist y Baker, 1991); CV_g = coeficiente de variación genética; CV_a = coeficiente de variación ambiental; CV_F = coeficiente de variación fenotípico; Mo = media de las 50 FMH; Ms = media de la fracción seleccionada; DS = diferencial de selección; GS = ganancia genética; ΔG = incremento genético; $\Delta G(\%) = (\Delta G/Mo) \cdot 100$.

La h_e^2 para el PF obtuvo un valor mínimo en Arboleda con 18%. En Tangua fue del 37%, en Cartago del 38% y en la Unión del 40% (Tablas 4 y 5). Estas heredabilidades se consideran moderadas, aunque los altos valores de CV_A que oscilan entre 15,45 y 41,19, dan indicios de una gran influencia genética, con la posibilidad de identificar y seleccionar genotipos superiores y heredar a sus descendientes genes favorables (Silva-Díaz et al.,

2018) para el PF, es importante porque esta correlacionada positivamente con el RTO (Jurado et al., 2013; Lagos et al., 2015).

Como se observó en el RTO y PF, los estimados de h_e^2 , para los SST e IM aumentaron en cada una de las cuatro localidades respecto a los estimados a través de estas, pero los valores para SST fueron altos en comparación con los de IM (Tablas 4 y 5). Esto corrobora lo antes descrito para RTO y PF, en el sentido de estratificar ambientes para aprovechar los valores altos de h_e^2 y lograr altos índices de ganancia genética (Tablas 4 y 5).

Respecto al IM de las 50 FMH (Tablas 4 y 5), las h_e^2 fueron altas en La Unión (69%) y Tangua (76%) y moderadas en Cartago (29%) y bajas en Arboleda (10%). Los CV_A son bajos en todas las localidades, a pesar de los altos valores de h_e^2 , esto coincide con lo planteado por Cornelius (1994), quien indica que algunos caracteres que exhiben altas heredabilidades en sentido estricto no necesariamente implican altos niveles de variación genética aditiva, y también caracteres que tienen bajas heredabilidades tienden a tener altos niveles de variación genética aditiva, característico de especies con bajos niveles de selección artificial. La Unión que obtuvo el mayor CV_A , es la localidad donde la selección para el IM podría ser más eficiente, dado que también mostro un alto valor de h_e^2 (69%) (Tabla 5).

Los valores de h_e^2 en RTO, PF, SST e IM aumentaron en cada una de las localidades, si se comparan con el valor a través de las cuatro localidades debido a los mayores valores de ΔG , $\Delta G(\%)$ y GS . Los valores altos de ΔG indican una acción genética aditiva, mientras que los valores bajo acción genética no aditiva. Por consiguiente, los valores de heredabilidad son confiables si van acompañados de una alta ΔG y GS (Mishra et al., 2015).

Con relación a los componentes de varianza genética establecidos en las 10 FMH a través de las localidades, se encontró que el primer ciclo de selección recurrente permitió mantener, y en algunos casos, expresar mayores niveles de varianza aditiva y h_e^2 que los encontrados en las 50FMH, lo cual demuestra las ventajas de la selección recurrente con respecto a mantener la variabilidad genética ciclo a ciclo (Paul et al., 2010). Acorde con la Tabla 6, el valor de la h_e^2 para el RTO fue de 41,24% y un ΔG de 0,11 t.ha⁻¹ y un avance

genético del 1,27%, para PF de 88.09% y un ΔG de 1,84 g y un avance genético del 1,85%, para SST de 77,30% y un ΔG de 0,08 °brix y un avance genético del 0,83% y para el IM de 87% y un ΔG de 0,06U y un avance genético del 2,05%. Dichas estimaciones son superiores a las de las 50 FMH (Tabla 3). Esto indica que a partir de la recombinación de estas 10 FMH, se pueden obtener avances en la selección, dado que los estimados de heredabilidad se basaron en un diseño balanceado, lo cual mejoró la precisión de éstos con respecto al ensayo de las 50 FMH, donde se perdieron algunas parcelas que influyeron en la precisión de los parámetros evaluados. En consecuencia, los CV_A también fueron superiores, aspecto que incrementa el potencial para aumentar las ganancias genéticas (Sreelathakumary & Rajamony, 2004) en la selección de estos caracteres.

Tabla 3-6: Componentes de varianza y heredabilidad en sentido estricto en rendimiento (RTO), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez del fruto (IM) de 10 FMH de lulo evaluados a través de cuatro ambientes de la regional natural Andina del departamento de Nariño

<i>Parámetro</i>	<i>RTO</i>	<i>PF</i>	<i>SST</i>	<i>IM</i>
σ_g^2	0,39	47,31	0,10	0,05
σ_A^2	1,57	189,22	0,39	0,21
σ_{ga}^2	1,00	8,84	0,00	0,01
σ_F^2	0,95	53,70	0,13	0,06
σ_a^2	4,93	66,92	0,47	0,10
h_e^2	41,24	88,09	77,30	87,00
CV_g	6,97	6,93	3,33	7,71
CV_A	13,94	13,87	6,66	15,42
CV_F	10,86	7,39	3,79	8,26
CV_a	12,83	19,90	4,97	10,48
Media	8,98	99,20	9,40	2,99
ΔG	0,11	1,84	0,08	0,06
$\Delta G(\%)$	1,27	1,85	0,83	2,05

σ_a^2 = Varianza ambiental; σ_g^2 = varianza genética; σ_A^2 = varianza aditiva; σ_{ga}^2 = varianza de la interacción FMH x ambiente; h_e^2 = heredabilidad en sentido estrecho; CV_g = coeficiente de variación genética; CV_A = coeficiente de variación aditivo; CV_F = coeficiente de variación

fenotípico; CV_a = coeficiente de variación ambiental; ΔG = incremento genético; $\Delta G(\%) = (\Delta G/\text{Media}) * 100$.

Debido a la interacción **ga** significativa para RTO y PF en las 10 FMH (Tabla 2), en la Tabla 7 se presentan los componentes de varianza y las heredabilidades en sentido estricto para estas dos variables en los municipios de Arboleda, Cartago, Tangua y La Unión. Tal como sucedió en las 50 FMH, la varianza aditiva del RTO fue mayor en cada una de las localidades que a través de las mismas, excepto en La Unión donde hubo un descenso. Un comportamiento similar presento el PF, cuya varianza aditiva fue mayor en tres de las cuatro localidades que a través de las cuatro localidades. Cartago fue el ambiente con una varianza aditiva menor a la obtenida a través de las localidades.

La influencia de los ambientes en la expresión de la h_e^2 fue notoria (Tabla 7). En general, se observa que tanto para RTO como para PF, algunos expresan un mayor valor que a través de las localidades. En el RTO Arboleda mostró el valor más alto de h_e^2 (80,45%), seguida por Tangua (44,33%). Estas heredabilidades fueron mayores a la expresada por esta variable a través de las cuatro localidades (Tabla 6), mientras que Cartago (35,40%) y La Unión (11,13%) exhibieron valores menores. Con base en estos resultados se puede determinar que es necesario ajustar la técnica experimental, aumentar el número de años, de ambientes y el número de genotipos evaluados para mejorar las estimaciones de la h_e^2 (Hallauer et al., 2010).

Los CV_A fueron altos dentro y a través de las cuatro localidades, excepto en la Unión para el RTO, donde fue bajo (Tablas 6 y 7). Una estrategia para aprovechar la varianza y tener progresos en la selección es estratificar ambientes. De hecho, en las localidades y en características donde se manifiestan CV_A altos, es más fácil obtener avances por selección. Es importante destacar que en la mayoría de las localidades, los CV_A aumentaron respecto a los observados en las 50 FMH, por lo que corrobora el hecho de que la selección recurrente de familias de medios hermanos “puede contribuir a la manifestación de la varianza aditiva, dado que se puede tener un mejor control ambiental y una mayor posibilidad de explotar más intensamente la varianza aditiva” (Peña-Lomelí et al., 2008), aunado al hecho de mejorar la técnica experimental. De hecho, en el ensayo de las 10 FMH, no hubo pérdida de parcelas experimentales, lo cual redujo el valor de los CM de FMH x a, respecto al ensayo de las 50 FMH (Tabla 2).

En cuanto al PF las h_e^2 de las 10 FMH fueron superiores a las de las 50 FMH y muy semejantes a la obtenida a través de las cuatro localidades en las 10 FMH, a excepción de Cartago que obtuvo el menor valor con 43,15%. Arboleda, Tangua y La Unión obtuvieron valores de h_e^2 entre 79% y 84%, consideradas altas.

En la localidad de Arboleda, la selección de las 10 FMH permitió obtener mayor incremento para el RTO ($\Delta G = 0,61$), con un 5,26% de avance genético más que las 50 FMH. Para el carácter PF el incremento fue mayor en las localidades de Arboleda ($\Delta G = 2,65$) y Tangua ($\Delta G = 2,25$), con un avance genético del 2,55 y 2,25% más que las 50 FMH, respectivamente.

Los CV_A fueron altos en Tangua y La Unión y fueron superiores a los de las 50 FMH; en cambio, en Arboleda y Cartago fueron bajos e inferiores a los de las 50 FMH (Tablas 4, 5 y 7). Esto confirma la necesidad de estratificar ambientes para obtener mejoras en los progresos de la selección y en los valores de las heredabilidades.

Con base en los resultados antes descritos se puede detectar la tendencia de las estimaciones de heredabilidad a ser mayores cuando se calculan en un ambiente en particular que a través de los ambientes, lo cual puede estar en función de los efectos de la varianza FMH x a, los que difieren de una variable a otra, aunque son más determinantes en el RTO, donde los efectos de la interacción **ga** superaron a los efectos genéticos en los dos ensayos. Resultados similares encontraron Wessel-Beaver & Scott (Wessel-Beaver & Scott, 2019) en *Lycopersicon esculentum* Mill.

Finalmente, es necesario considerar lo planteado por Bouzerzour & Dekhili (1995) quienes consideran que el sitio de selección ideal debe cumplir dos requisitos. Primero, las diferencias genéticas encontradas en ese sitio también deben expresarse en el ambiente objetivo, y segundo, la respuesta a la selección obtenida en el sitio de selección debe mantenerse hasta cierto punto en el ambiente objetivo. La idoneidad de los sitios de selección que difieren en las condiciones ambientales se evalúa a través de las heredabilidades. Dado que las interacciones de FMH x ambientes son importantes en las localidades evaluadas, se necesita incrementar las evaluaciones en años y en ambientes con el propósito de identificar genotipos con adaptación específica a la región.

Tabla 3-7: Componentes de varianza y heredabilidades en sentido estricto en rendimiento (RTO) y peso de fruto (PF) de 10 FMH de lulo evaluados en Arboleda, Cartago, Tangua y La Unión, departamento de Nariño

<i>Par</i>	<i>Arboleda</i>		<i>Cartago</i>		<i>Tangua</i>		<i>La Unión</i>	
	<i>RTO</i>	<i>PF</i>	<i>RTO</i>	<i>PF</i>	<i>RTO</i>	<i>PF</i>	<i>RTO</i>	<i>PF</i>
σ_a^2	3,45	71,45	6,49	82,51	7,62	39,83	2,15	73,91
σ_g^2	3,55	67,02	0,89	15,65	1,52	49,85	0,07	95,82
σ_A^2	14,19	268,09	3,56	62,61	6,07	199,40	0,27	383,27
σ_F^2	7,00	138,48	7,38	98,16	9,14	89,68	2,22	169,72
h_e^2	80,45	78,96	35,40	43,15	44,33	83,35	11,13	83,83
CV_a	16,12	8,15	28,73	9,23	25,81	6,31	30,25	9,09
CV_g	3,93	8,42	3,11	3,99	3,45	6,13	1,45	12,39
CV_A	22,96	11,34	12,44	15,94	13,80	24,54	5,80	49,55
Media	11,52	103,77	8,87	98,36	10,7	100,03	4,85	94,62
ΔG	0,61	2,65	0,27	1,22	0,38	2,25	0,05	3,11
$\Delta G(\%)$	5,26	2,55	3,09	1,24	3,57	2,25	0,97	3,29

Par = parámetro; σ_a^2 = varianza ambiental; σ_g^2 = varianza genética σ_A^2 = varianza aditiva; σ_F^2 = varianza fenotípica; h_e^2 = heredabilidad en sentido estrecho (Nyquist y Baker, 1991); CV_g = coeficiente de variación genética; CV_a = coeficiente de variación ambiental; CV_F = coeficiente de variación fenotípico; IG = incremento genético; ΔG = incremento genético; $\Delta G(\%) = (\Delta G/\text{Media}) \cdot 100$.

La adaptación a un ambiente se logra mejor, si se selecciona en ese ambiente. Una selección en un ambiente de alto rendimiento no identifica genotipos adecuados para ambientes de bajo rendimiento. La selección en ambientes de bajo rendimiento parece más eficiente (Bouzerzour & Dekhili, 1995), de ahí que establecer las heredabilidades dentro de un ambiente, es válido para lograr avances en la selección para las condiciones de ese ambiente.

3.6 Conclusiones

Las heredabilidades en sentido estricto a través de las cuatro localidades en las 50 familias de medios hermanos (50 FMH) de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fueron bajas para

rendimiento y moderadas para las demás variables. Los coeficientes de varianza aditiva fueron relativamente bajos para todas variables.

En Arboleda, Cartago, Tangua y La Unión, las 50 FMH mostraron una heredabilidad en sentido estricto alta en RTO y SST. Para PF, fue moderada en Cartago, Tangua y La Unión y baja en Arboleda, y en el IM fue alta en Tangua y La Unión, moderada en Cartago y baja en Arboleda. En RTO, Cartago y La Unión mostraron CV_A altos, en cambio Arboleda y Tangua bajos. Altos valores de CV_A en PF se manifestaron en todas las localidades.

La heredabilidad en sentido estricto del RTO, PF, SST e IM en las diez familias de medios hermanos (10 FMH) de lulo a través de las cuatro localidades evaluadas presentó valores superiores al ensayo a través de localidades en las 50 FMH. Las heredabilidades en sentido estricto y los CV_A para RTO fueron altos en Arboleda, moderados en Cartago y Tangua y bajos en La Unión. Las heredabilidades en sentido estricto en PF se mostraron altas en Arboleda, Tangua y La Unión, y moderados en Cartago. Los CV_A fueron altos en La Unión, Tangua y Cartago y moderados en Arboleda.

3.7 Bibliografía

- Abebe, T., Alamerew, S., & Tulu, L. (2017). Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and its Related Traits in Rainfed Lowland Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes at Fogera and Pawe, Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000272>
- Acacia, D. E. P. D. E., Grande, R. I. O., Sul, D. O., Souza, S. M. De, Higa, A. R., & Stein, P. P. (1991). *Eng.-Agrônomo, M.Sc., CREA n.*
- Al-Naggar, A. M. M., Shafik, M. M., & Musa, R. Y. M. (2020). *Ammi and Gge Biplot Analyses for Yield Stability of Nineteen Maize Ammi and Gge Biplot Analyses for Yield Stability of Nineteen Maize Genotypes Under Different Nitrogen and Irrigation Levels. October.* [http://www.plantarchives.org/20-2/4431-4443\(6172\).pdf](http://www.plantarchives.org/20-2/4431-4443(6172).pdf)
- Alejos, G., Monasterio, P., & Rea, R. (2006). Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(3), 369–384.
- Allard, R. W. (1967). *Principios de la mejora genética de las plantas* (Montoya, J). Omega.

- Almanza-Merchán, P. J., Velandia D., J. D., & Tovar L., Y. P. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 222–231. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- Ana Elizabeth Díaz, M., & Brochero, H. L. (2012). Parasitoides asociados al perforador del fruto de las solanáceas neoleucinodes elegantalis (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(1), 50–57.
- Antuna-Grijalva, O., Rincón-Sánchez, F., Gutiérrez-del Río, E., Ruiz-Torres, N. A., & Bustamante-García, L. (2022). Componentes Genéticos De Caracteres Agronómicos Y De Calidad Fisiológica De Semillas En Líneas De Maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 11. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.1.11>
- Ardila, G. H., Fischer, G., & García, J. C. (2015). La poda de tallos y racimos florales afecta la producción de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 24. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3743>
- Arias, D. G., Doria, C. M. M., Ramos, L. R., & Morocho, H. C. N. (2012). Molecular characterization of the polyphenol oxidase gene in lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Castilla. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24(4), 261–272. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202012000400005>
- Bastidas, J., & Cuaspud, J. (2018). *Comportamiento agronómico de diez familias de medios hermanos de lulo (Solanum quitoense Lam.)* [Universidad de Nariño]. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.12.025%0Ahttp://www.depkes.go.id/resources/download/info-terkini/hasil-risikesdas-2018.pdf%0Ahttp://www.who.int/about/licensing/>
- Bernal Estrada, J. A., Córdoba G, O., Franco, G., Londoño B, M., Rodríguez Osorio, J. E., & Guevara Monroy, N. (1996). *Cultivo del lulo (Solanum quitoense Lam.)*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/21110>
- Bhandari, H. S., Saha, M. C., Mascia, P. N., Fasoula, V. A., & Bouton, J. H. (2010). Variation among half-sib families and heritability for biomass yield and other traits in lowland switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Crop Science*, 50(6), 2355–2363. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0109>
- Bouzerzour, H., & Dekhili, M. (1995). Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Research*, 41(3), 173–178. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00005-B](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00005-B)
- Carvajal, V., Aristizabal, M., & Vallejo, A. (2012). Caracterización del crecimiento del fruto

- de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* SIMS.). *Agron*, 20(1), 77–86.
- Casierra, F., & Aguilar, Ó. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez Quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) harvested at different maturity stages. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal.*, 26(2), 300–307.
- Ceballos, N. (2012). *Evaluación agronómica, molecular e interacción genotipo-ambiente de introducciones de tomate tipo cereza* (Vol. 66). UNIVERSIDAD DE CALDAS.
- Cornelius, J. (1994). Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Nucl. Phys.*, 24, 372–379.
- Coronado, A. C. M., Tovar-León, Y. P., & Coronado, Y. M. (2017). Characterization of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) genetic diversity in the department of Boyaca, Colombia. *Acta Agronomica*, 66(3), 430–435. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.58997>
- Coutiño Estrada, B., Sanchez Grajalez, G., & Vidal Martínez, V. (2008). Selección entre y dentro de familias de hermanos completos de maíz en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2), 115–123.
- Crossa, J., Fox, P. N., Pfeiffer, W. H., Rajaram, S., & Gauch, H. G. (1991). AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics*, 81(1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/BF00226108>
- Cruz, C. (2012). *Principios de genética cuantitativa* (UFV (ed.); Vol. 1). Universidad Federal de Vicosa.
- Damba, G. (2008). Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuda (*Manihot esculenta* Crantz) [UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA]. In *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* (Vol. 32, Issue 2). <http://pubs.sciepub.com/wjar/2/5/5/index.html>
- DANE. (2015). El Cultivo del Lulo (*Solanum quitoense*) y los efectos del fenómeno del niño en la producción. In *Boletín mensual de insumos y factores asociados a la producción agropecuaria: Vol. Num 42*.
- DANE. (2022). Comportamiento de los precios. *Sistema de Información de Precios Del Sector Agropecuario (SIPSA)*, 1–50. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/bol_17sep_al_23sep_2022.pdf
- De Oliveira, L. A., Da Silva, C. P., Nuvunga, J. J., Da Silva, A. Q., & Balestre, M. (2015). Credible intervals for scores in the AMMI with random effects for genotype. *Crop Science*, 55(2), 465–476. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.05.0369>

- De Vilela, D. M. . (2002). Genética Biométrica e Estadística no Melhoramento de Plantas Perennes. In *Embrapa Informacao Tecnológica*.
- Dos Santos, W., Aguiar, A. V., Souza, D. C. L., Dini, D. G. T., De Souza, F. B., Dalastra, C., Machado, J. A. R., De Sousa, V. A., De Moraes, M. L. T., Freitas, M. L. M., & Sebbenn, A. M. (2018). Genetic variation and effective population size in *Dipteryx Alata* progenies in Pederneiras, São Paulo, Brazil. *Revista Arvore*, 42(3).
<https://doi.org/10.1590/1806-90882018000300010>
- Erkul, A., Ünay, A., & Konak, C. (2010). Inheritance of yield and yield components in a bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) cross. *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 137–140.
- Falconer, D. S., & Mackay Trudy, F. . (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.).
- Fonseca H., M. C., Rodríguez A., J. A., Herrera A., A. O., & Fischer, G. (2013). Caracterización fisicoquímica del fruto de cuque (*Solanum vestissimum* Dunal) durante la maduración. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 31–40.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1276>
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M. (2016). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1), 73–85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Gabriel, J., Angulo, A., Velasco, J., & Guzmán, R. (2016). Adaptación de híbridos de tomate indeterminado [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] bajo condiciones de invernadero TT - Adaptation of indeterminate tomato hybrids [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] under greenhouse conditions. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(2), 47–65.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942016000200003&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2_a03.pdf
- Gauch, H. G., Piepho, H. P., & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*, 48(3), 866–889.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0513>
- Gómez, F., Trejo-Téllez, L. I., García-Albarado, C. J., & V, M.-R. (2013). *Lulo (Solanum quitoense Lamarck .) as a new element of the landscape in Mexico : germination and growth on organic substrates. April 2017, 877–887.*
- González Loaiza, D. I., Ordoñez Santos, L. E., Vanegas Mahecha, P., & Vásquez

- Amariles, H. D. (2014). Changes in physicochemical properties of the fruit of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) harvested at three degrees of maturity. *Acta Agronomica*, 63(1), 11–17.
- Hallauer, A. R., & Carena, M. J. (2012). Recurrent selection methods to improve germplasm in maize. *Maydica*, 57(3–4), 266–283.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. . (2010). Handbook of Plant Breeding. In *Nucl. Phys.* (second edi, Vol. 13, Issue 1).
- Hernández-Bautista, A., Lobato-Ortiz, R., Cruz-Izquierdo, S., García Zavala, J., & Chavez-Servia, J. (2014). Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruce interespecífica de jitomate. *Interciencia*, 39(5), 327–332.
- Holland, J. B., Nyquist, W. E., & Cervantes-Martínez, C. T. (2010). Estimating and Interpreting Heritability for Plant Breeding: An Update. In *Plant Breeding Reviews* (Vol. 22). <https://doi.org/10.1002/9780470650202.ch2>
- Jurado, J., Perez, L., Lagos-Burbano, T. ., & Benavides, C. (2013). *Solanum quitoense* Lam . ON PATTERNS OF *Solanum* spp . *Revissta de Ciencias Agrícolas*, 30(1), 54–64.
- Kizilgeci, F., Albayrak, O., Yildirim, M., & Akinci, C. (2019). Stability evaluation of bread wheat genotypes under varying environments by ammi model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9), 6865–6872.
- Kumar, S. R., Arumugam, T., Balakrishnan, S., & Anandakumar, C. R. (2013). Variability in the Segregating Generation of Eggplant for Earliness and Yield. *Nucl. Phys.*, 16(20), 1122–1129. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.1122.1129>
- Lagos, T., Apraez, J., Lagos, L., & Duarte, D. (2015). Comportamiento de 50 familias de medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam bajo selección recurrente. *Temas Agrarios*, 20(2), 19. <https://doi.org/10.21897/rta.v20i2.755>
- Liu, Q., Huang, L., Fu, C., Zhang, T., Ding, W., & Yang, C. (2022). Genotype–environment interaction of crocin in *Gardenia jasminoides* by AMMI and GGE biplot analysis. *Food Science and Nutrition*, July, 1–8. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3003>
- Lobo Arias, M. (2007). Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 40. https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:68
- Lozano del Río, A., Zamora Villa, V., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-Herrera, S., Cruz Lazaro, E., & de la Rosa-Ibarra, M. (2009). Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo ammi y potencial de producción de triticales forrajeros

- (x Triticosecale Wittm.). *Universidad y Ciencia*, 25(1), 81–92.
<https://doi.org/10.19136/era.a25n1.222>
- MADR. (2018). *Red de información y comunicación del sector agropecuario en Colombia*.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>
- Mandel, J. (1971). A new analysis of variance model for non-additive data.
Technometrics, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00401706.1971.10488751>
- Medina C., C. I., Lobo A., M., & Martínez B., 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.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num2_art:139
- Mekonnen, Z., & Mohammed, H. (2009). Study on genotype x environment interaction of yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Phytology*, 1(August), 199–205.
- Mishra, P. K., Ram, R. B., & Kumar, N. (2015). Genetic variability, heritability, and genetic advance in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(3), 451–458. <https://doi.org/10.3906/tar-1408-99>
- Monteiro, P. H., De Siqueira, D. L., Chamhum, L. C., Pereira, D. F., & Cecon, P. R. (2013). Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* LAM), em viçosa-MG. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1), 131–142.
<https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100016>
- Moreno-maldonado, M., Peña-lomelí, A., & Sahagún-castellanos, J. (2002). Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(3), 231–237.
- Muñoz, J., Rodríguez, L., & Bermudez, L. (2013). Análisis de competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 173–185.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Nahak, S. C., Nandi, A., Sahu, G. S., Tripathy, P., Dash, S. K., & Patnaik, A. (2018). Studies on variability, heritability and genetic advance for yield and yield contributing characters in chilli (*Capsicum annum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2506–2510.
- Nduwumuremyi, A., Melis, R., Shanahan, P., & Theodore, A. (2017). Interaction of genotype and environment effects on important traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop Journal*, 5(5), 373–386. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.02.004>
- Nyquist, W. E., & Baker, R. J. (2008). Estimation of heritability and prediction of selection

- response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(3), 235–322.
- Ochoa V., L. M., Balaguera, H. E., Ardila, G., Pizón, E. hernanado, & Álvarez, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam .) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia) in the Municipality of San Antonio del Tequendama (Colombia) Crescimento e desenvolvimento do fruto de lulo. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera*, 17(3), 347–359.
- Ordóñez, C. U., Gómez, H. O., Ordóñez J., H. R., & Lagos B., T. C. (2012). Evaluación de un sistema de propagación vegetativa mediante esquejes en Lulo silvestre (*Solanum hirtum* Vahl, *S. marginatum* L.f., *S. sessiliflorum* Dun, *S. mammosum* L. y *S. umbellatum* Mill. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 29–41.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104107>
- Ortolá, M. (2020). Determinacion de la tasa respiratoria de frutas. In *Universidad Politécnica de Valencia*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/145648>
- Oyervides G., A., Mariaca P., J. M., De León C., H., & Reyes V., M. (2016). Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.15517/am.v4i0.25163>
- Parra Coronado, A. (2015). Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 314. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3223>
- Paul, S., Khanuja, S. P. S., Shasany, A. K., Gupta, M. M., Darokar, M. P., Saikia, D., & Gupta, A. K. (2010). Enhancement of artemisinin content through four cycles of recurrent selection with relation to heritability, correlation and molecular marker in *Artemisia annua* L. *Planta Medica*, 76(13), 1468–1472. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1240940>
- Peña-Lomelí, A., Guerrero-Ramos, H., Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., & Magaña-Lira, N. (2013). Selección Temprana en Familias de Medios Hermanos Maternos de Tomate de Cáscara de la Raza Puebla. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 19(1), 5–13. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.18>
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. ., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., Márquez-Sánchez, F., Cervantes-Santana, T., & Santiaguillo-Hernández, J. . (2008). Parámetros genéticos en la variedad chf1 Chapingo de tomate de cáscara (*physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 5–11.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.11.046>
- Piepho, H. P., & Möhring, J. (2007). Computing heritability and selection response from

- unbalanced plant breeding trials. *Genetics*, 177(3), 1881–1888.
<https://doi.org/10.1534/genetics.107.074229>
- Pistorale, S. M., Abbott, L. A., & Andrés, A. (2008). Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(3), 259–264. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202008000300003>
- Poehlman, J. ., & Sleper, D. A. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas* (2nd ed.).
- Ramírez, F., Kallarackal, J., & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238(April), 163–176.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Riascos, M., Santacruz, A., Lagos, T., & 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.
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiUyf6936nvAhUwzlkKHe2SB1QQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5104113.pdf&usg=AOvVaw1d9dPBJuN1pis2juY2fDjV>
- Rodríguez-González, R. E., Ponce-Medina, J. F., Rueda-Puente, E. O., Avendaño-Reyes, L., Paz Hernández, J. J., Santillano-Cazares, J., & Cruz-Villegas, M. (2011). Interacción genotipo - ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 543–558.
- Rojas, C. M., Muñoz, L. A., Terán, V., Prado, F., & Quiñónez, M. A. (2010). Evaluación de patógenos en clones de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Acta Agronómica*, 59(2), 144–154. http://168.176.5.108/index.php/acta_agronomica/article/view/16273/17190
- Rumball, W., & Rae, A. L. (1968). The Effect of Selection Intensity on Selection Response in *Tribolium*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 11(4), 745–756.
<https://doi.org/10.1080/00288233.1968.10422406>
- S. Muniappan, Saravanan, K., & B. Ramya. (2010). Studies on Genetic Divergence and Variability For Certain Economic Characters in Eggplant (*Solanum Melongena* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(4), 462–465.
<http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ejpb&volume=1&issue=4&article=017&type=pdf>
- Salazar-González, C., & Betancourth-García, C. (2017). Reacción de genotipos de lulo

- (*Solanum quitoense* Lam.) a *Meloidogyne* spp. En condiciones de campo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 295–306.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:629
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. (2017). Evaluation of Genotype × Environment Interaction in Rice Based on AMMI Model in Iran. *Rice Science*, 24(3), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Silva-Díaz, R., García-Mendoza, P., Faleiro-Silva, D., & De Souza, C. L. (2018). Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. *Bioagro*, 30(1), 67–77.
- Silva, W., Gómez, P., Viera, W., Sotomayor, A., Viteri, P., & Ron, L. (1993). Selección de líneas promisorias de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) para calidad de fruta. *ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 3(1), 23–30.
<http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestcalidad/index.php/revista/article/view/27>
- Sohail, A., Rahman, H., Hussain, Q., Hadi, F., Ullah, U., & Khan, W. (2018). Genetic Variability, Heritability and Correlation studies in Half-Sib Recurrent families of CIMMYT Maize population CZP-132011. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 13(April 2019), 106–112.
- Sreelathakumary, I., & Rajamony, L. (2004). Variability, heritability and genetic advance in chilli (*Capsicum annum* L.). *Journal of Tropical Agriculture*, 42(2), 35–37.
- Stommel, J. R., Camp, M. J., Dumm, J. M., Haynes, K. G., Luo, Y., & Schoevaars, A. M. (2016). Heritability of fresh-cut fruit quality attributes in capsicum. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141(4), 308–314.
<https://doi.org/10.21273/jashs.141.4.308>
- Szareski, V. J., Carvalho, I. R., Kehl, K., Levien, A. M., Nardino, M., Demari, G. H., Lautenchleger, F., de Souza, V. Q., Pedó, T., & Aumonde, T. Z. (2017). Univariate, multivariate techniques and mixed models applied to the adaptability and stability of wheat in the Rio Grande do Sul State. *Genetics and Molecular Research*, 16(3).
<https://doi.org/10.4238/gmr16039735>
- Terfa, G. N., & Gurm, G. N. (2020). Genetic variability, heritability and genetic advance in linseed (*Linum usitatissimum* L) genotypes for seed yield and other agronomic traits. *Oil Crop Science*, 5(3), 156–160. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.08.002>
- Vallejo, F., & Estrada, E. (2002). *Mejoramiento Genético de plantas* (U. N. de Colombia (ed.); Vol. 1, Issue 1). <http://journal.um->

-
- surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203
- Verma, A., Kumar, V., Kharab, A. S., & Singh, G. P. (2019). AMMI Model to Estimate GxE for Grain Yield of Dual Purpose Barley Genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(05), 1–7.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.805.001>
- Villanueva Verduzco, C., Ayala Esteban, J. A., Villanueva-Sánchez, E., Sahún Castellanos, J., Sánchez Cabrera, I., Chaning Merrick, L., & Irizar Garza, M. B. G. (2020). Changes of genetic variances and heritability by effect of selection in a Mexican local variety of Squash. *J Appl Biotechnol Bioeng*, 7(5), 225–230.
- Wessel-Beaver, L., & Scott, J. W. (2019). Genetic Variability of Fruit Set, Fruit Weight, and Yield in a Tomato Population Grown in Two High-temperature Environments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(5), 867–870.
<https://doi.org/10.21273/jashs.117.5.867>
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597–605.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>