UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA



EVALUACIÓN DEL QUINTO CICLO DE SELECCIÓN POR MEDIOS HERMANOS DEL CULTIVO DE MAÍZ RAZA CANGUIL ROJO *(Zea mays* L. var. Everta*)*, EN CHALTURA-IMBABURA

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTORA:

Nataly Vanessa Montaguano Tuquerres

DIRECTORA:

Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD

Ibarra-Ecuador, 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DEL QUINTO CICLO DE SELECCIÓN POR MEDIOS HERMANOS DEL CULTIVO DE MAÍZ RAZA CANGUIL ROJO *(Zea mays* L. var. Everta*)***, EN CHALTURA-IMBABURA**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

APROBADO:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DORIS SALOME
CHALAMPUENTE FLORES

Ing. Doris Chalampuente, PhD. _____

DIRECTOR FIRMA

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ANGEL MARCELO
CEVALLOS VALLEJOS

Ing. Marcelo Cevallos, PhD. _____

ASESOR FIRMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Montaguano Tuquerres Nataly Vanessa

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL QUINTO CICLO DE SELECCIÓN POR MEDIOS HERMANOS DEL CULTIVO DE MAÍZ RAZA CANGUIL ROJO *(Zea mays* L. var. Everta*)*, EN CHALTURA-IMBABURA
AUTOR (ES):	Nataly Vanessa Montaguano Tuquerres
FECHA: DD/MM/AA	06 de julio del 2026
PROGRAMA:	☒ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD. / Ing. Marcelo Cevallos, PhD.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de julio del 2026

LA AUTORA:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
NATALY VANESSA MONTAGUANO TUQUERRES

Nataly Vanessa Montaguano Tuquerres

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Srta. Nataly Vanessa Montaguano Tuquerres, bajo mi supervisión.

Ibarra a los 06 días del mes de julio del 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DORIS SALOME
CHALAMPUENTE FLORES

……

Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 06 días del mes de julio del 2026

Nataly Vanessa Montaguano Tuquerres: EVALUACIÓN DEL QUINTO CICLO DE SELECCIÓN POR MEDIOS HERMANOS DEL CULTIVO DE MAÍZ RAZA CANGUIL ROJO *(Zea mays* L. var. Everta*)*, EN CHALTURA-IMBABURA.
Trabajo de titulación. Ingeniera Agropecuaria.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 06 días del mes de julio del 2026, 103 páginas.

DIRECTORA: Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar del quinto ciclo de selección por medios hermanos del cultivo de maíz raza canguil rojo *(Zea mays* L. var. Everta*)*, en Chaltura-Imbabura, Ibarra.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Caracterizar el comportamiento agronómico de una población de medios hermanos de maíz raza canguil bajo las condiciones climáticas en Chaltura-Imbabura.
- Evaluar el porcentaje de reventado de canguil procedente de la selección de medios hermanos.
- Seleccionar las mejores familias de medios hermanos de maíz raza canguil para continuar con el proceso de selección de mejoramiento genético.

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar por agradecer a Dios por darme salud y vida, por guiar mis pasos a lo largo de esta carrera universitaria. Y por permitirme cumplir esta meta tan importante que es terminar mi carrera profesional como ingeniera agropecuaria.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi hijo Liam por ser la personita quien me motivo a nunca rendirme y luchar por cada uno de mis sueños que dejaron de ser solo míos para ser de los dos. Como no también agradecer a mis padres María Tuquerres y Segundo Montaguano por sus sabios consejos y por su apoyo incondicional en las etapas más importantes de mi vida,

A mis hermanos Marisol, Teodomiro, Elisa y Cristian por sus consejos y apoyo incondicional.

Agradezco de corazón a mi directora de tesis, Ing. Doris Chalampuente, quien nunca me dejo sola y siempre estuvo presta a cualquier duda o inquietud, quien con su conocimiento contribuyeron a mi formación académica y desarrollo de este trabajo de investigación, juntamente con mi asesor Marcelo Cevallos, PhD. A ellos gracias por orientarme y guiarme de la mejor manera hasta el último día de mi carrera. También quiero expresar un sincero agradecimiento al Fondo para la Investigación en Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA) por el financiamiento otorgado mediante el proyecto "Fortalecimiento del Centro de Bioconocimiento La Pradera como eje integrador de bancos comunitarios de semillas de Imbabura y la generación de sistemas alimentarios más sostenibles y resilientes". Su apoyo fue fundamental para el desarrollo de esta investigación y contribuyó al fortalecimiento de iniciativas significativas orientadas a la conservación de la agrobiodiversidad y la promoción de sistemas alimentarios más sostenibles y resilientes.

Al Ing. Cristian Subía, Director del Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), y a los técnicos por formar parte de este programa, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y sobre todo por su apoyo incondicional durante la fase de campo y por transmitirme sus valiosos conocimientos.

Expreso mi más profundo reconocimiento a la Universidad Técnica del Norte, institución que me acogió y brindó las bases científicas para mi formación profesional. De manera especial agradezco a la carrera de Agropecuaria y a su distinguido personal docente, administrativo y trabajadores.

Vanessa Montaguano

DEDICATORIA

A Dios

A mi Dios por darme fuerza necesaria para continuar cuando sentía que no podía más, mostrándome que su tiempo siempre es perfecto, por fortalecer mi corazón, iluminar mi mente y camino. Gracias por tanto padre Amado.

A mi hijo

Dedicado a mi hijo Liam Montaguano, el tesoro más grande que la vida me ha dado. Eres mi inspiración diaria y mi mayor orgullo. Este título es la promesa de un futuro mejor que construiremos juntos. Te amo con todo mi ser, gracias por ser mi luz en la oscuridad y por darme la fuerza necesaria para no rendirme nunca. ¡Lo logramos mi vida!

A mis padres

Para mis amados padres María Tuquerres y Segundo Montaguano, los arquitectos de mi destino. Gracias por cada uno de sus esfuerzos, las manos cansadas y las noches de desvelo que dedicaron para que yo nunca renunciara a mis sueños. Este título es el fruto de su sudor y el reflejo de su amor infinito. Los amo.

A mi abuelito

Este logro quiero dedicárselo a mi abuelito, Teodomiro Montaguano por brindarme su apoyo, su cariño y sus consejos que siempre los llevare en mí corazón. Aunque ya no esté físicamente, su espíritu sigue viviendo en mí. Gracias por creer en mí papito de mí vida.

A mis hermanos

Gracias por ser mi refugio y mi alegría. Gracias por recordarme siempre de dónde vengo y por caminar conmigo paso a paso. Es un orgullo compartir este éxito con ustedes.

Vanessa Montaguano

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO VIII
ÍNIDICE DE FIGURAS XII
ÍNIDICE DE TABLAS XIV
RESUMEN XV
ABSTRACT XVI
CAPITULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 Antecedentes 1
1.2 Problema de investigación 3
1.3 Justificación 4
1.4 Objetivos 5
1.4.1 Objetivo general 5
1.4.2 Objetivos específicos 5
1.5 Hipótesis 6
CAPITULO II 7
MARCO TEÓRICO 7
2.1. Generalidades del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) 7
2.1.1 Descripción taxonómica y botánica del cultivo de maíz 7
2.1.2 Proceso de polinización en el maíz (Zea mays L.) 9
2.1.3 Razas de maíz a nivel nacional 10
2.1.3.1 Variedades nativas 10
2.1.3.2 Variedades mejoradas 11
2.2 Maíz raza canguil ecuatoriano 12
2.2.1 Importancia del canguil para el Ecuador 13
2.2.2 Requerimientos para establecer el cultivo de maíz raza canguil 14
2.2.2.1 Clima 14
2.2.2.2 Suelo 14
2.2.2.3 Riego 14
2.2.2.4 Siembra 14
2.2.2.5 Fertilización 14
2.2.2.6 Cosecha 14
2.3 Mejoramiento genético 15

2.4 Métodos de selección 15
2.4.1 Selección masal 15
2.4.2 Selección de medios hermanos 16
2.5 Importancia de las antocianinas en el canguil 16
2.2. Marco legal 16
CAPITULO III 18
MARCO METODOLÓGICO 18
3.1. Descripción del área de estudio 18
3.2 Materiales 19
3.2.1 Material genético 19
3.3.1 Factor en estudio 20
3.3.2 Diseño experimental 20
3.3.3 Características del experimento 20
3.3.3.1 Características de la unidad experimental 21
3.3.4 Análisis estadístico 22
3.3.5 Variables a evaluarse 22
3.3.5.1 Porcentaje de emergencia 23
3.3.5.2 Días de floración masculina 23
3.3.5.3 Días de floración femenina 24
3.3.5.4 Altura de la planta 24
3.3.5.5 Número de mazorcas por planta 24
3.3.5.6 Porcentajes de mazorcas rojas 25
3.3.5.7 Peso de 100 semillas (g) 25
3.3.5.8 Diámetro de la mazorca 25
3.3.5.9 Longitud de la mazorca 26
3.3.5.10 Número de hileras por mazorca 26
3.3.5.11 Número de granos por hilera 26
3.3.5.12 Peso de la mazorca con grano 26
3.3.5.13 Ancho del grano 27
3.3.5.14 Longitud del grano 27
3.3.5.15 Rendimiento del grano por hectárea 28
3.3.5.16 Porcentaje de reventado 28
3.3.5.17 Incidencia de plagas y enfermedades 28

3.3.5.18 Seleccionar las mejores familias 29
3.4 Manejo del experimento 29
3.4.1 Obtención de la semilla 29
3.4.2 Preparación del terreno 30
3.4.3 Delimitación del terreno 30
3.4.4 Diseño de la parcela 31
3.4.5 Siembra 31
3.4.6 Fertilización 31
3.4.7 Riego 32
3.4.8 Labores culturales 32
3.4.9 Controles fitosanitarios 33
3.4.10 Cosecha 33
3.4.11 Desgrane 34
CAPÍTULO IV 35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 35
4.1 Análisis poblacional de maíz tipo canguil rojo 35
4.1.1 Variables relacionadas con la respuesta fenológica del maíz tipo canguil a las condiciones agroclimáticas de Chaltura - Imbabura 35
4.1.1.1 Porcentaje de emergencia (%) 35
4.1.1.2 Días a la floración femenina del maíz canguil rojo 36
4.1.1.3 Días a la floración masculina en maíz tipo canguil rojo 37
4.1.2 Variables de parámetros morfológicos de canguil 37
4.1.2.1 Altura de la planta (m) 38
4.1.2.2 Número de mazorcas por planta 38
4.1.3 Variables de indicadores productivos del maíz tipo canguil rojo 39
4.1.3.1 Diámetro de la mazorca 40
4.1.3.2 Longitud de la mazorca 40
4.1.3.3 Número de hileras por mazorca 41
4.1.3.4 Número de granos por hilera 42
4.1.3.5 Peso de la mazorca 42
4.1.4 Variables de componentes de calidad y rendimiento del canguil 42
4.1.4.1 Longitud del grano 43
4.1.4.2 Ancho del grano 43

4.1.4.3 Peso de 100 semillas 44
4.1.4.4 Rendimiento (t/ha^{-1}) 45
4.1.5 Porcentaje de mazorcas rojas 45
4.1.6 Porcentaje de reventado 46
4.2 Análisis de componentes principales (ACP) en la población de canguil rojo 48
4.3. Análisis de conglomerados en una población de 102 familias de canguil rojo..... 51
4.4 Incidencia de plagas y enfermedades en la población de maíz raza canguil rojo 55
4.4.1 Incidencia de plagas 55
4.4.2 Incidencia de enfermedades 57
4.5 Análisis de varianza de valores discriminantes por grupos conformados..... 59
4.6 Análisis de variables de interés agronómico 59
4.6.1 Porcentaje de emergencia..... 59
4.6.2 Días a la floración femenina..... 61
4.6.3 Días a la floración masculina 62
4.6.4 Diámetro de la mazorca..... 63
4.6.5 Longitud de la mazorca 64
4.6.6 Número de granos por hilera..... 66
4.6.7 Longitud del grano 67
4.6.8 Peso de la mazorca 69
4.6.9 Rendimiento del grano 70
4.6.10 Porcentaje de mazorcas rojas 71
4.7 Análisis de la variable porcentaje de reventado en tres grupos encontrados en 102 familias de maíz raza canguil rojo 73
4.7.1 Porcentaje de reventado 73
4.8 Selección de materiales promisorios de la población en estudio 74
CAPÍTULO V 77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 77
5.1 Conclusiones 77
5.2 Recomendaciones..... 78
REFERENCIAS..... 79

ÍNIDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Distribución de variedades nativas en Ecuador conservadas por INIAP* 11
Figura 2. *Distribución de las variedades de maíz generadas por el INIAP para la sierra ecuatoriana*..... 12
Figura 3. *Clasificación del grano de canguil reventado de acuerdo a la forma* 13
Figura 4. *Mapa de ubicación de la investigación en La Granja Experimental "La Pradera"* 18
Figura 5. *Descripción del diseño experimental de la investigación de maíz tipo canguil*..... 21
Figura 6. *Descripción del croquis de la unidad experimental en estudio*..... 22
Figura 7. *Emergencia del cultivo de maíz tipo canguil*..... 23
Figura 8. *Floración masculina de maíz tipo canguil* 23
Figura 9. *Floración femenina de canguil*..... 24
Figura 10. *Número de mazorcas por planta*……..24
Figura 11. *Porcentaje de expresión del carácter "mazorca roja" en maíz*..... 25
Figura 12. *Peso de 100 granos de maíz tipo canguil (g)*..... 25
Figura 13. *Evaluación de la variable diámetro de la mazorca*..... 26
Figura 14. *Evaluación de la variable longitud de la mazorca*..... 26
Figura 15. *Número de hileras por mazorca* 27
Figura 16. *Ancho del grano de maíz tipo canguil rojo*..... 27
Figura 17. *Longitud del grano de maíz tipo canguil*..... 27
Figura 18. *Porcentaje de reventado de la familia 71* 28
Figura 19. *Presencia de gusano cogollero en el cultivo de maíz tipo canguil*..... 29
Figura 20. *Preparación del área del terreno para la siembra del cultivo de maíz*..... 30
Figura 21. *Delimitación del área de estudio* 30
Figura 22. *Siembra del cultivo de maíz raza canguil rojo* 31
Figura 23. *Aplicación de fertilizante químico 18-46-00* 32
Figura 24. *Deshierbe, aporque y raleo del cultivo de maíz tipo canguil* 33
Figura 25. *Aplicación de insecticidas para el control de Gusano cogollero*..... 34
Figura 26. *Cosecha y secado de las 102 familias de maíz raza canguil rojo* 34
Figura 27. *Diámetro de la mazorca en (Zea mays* L.*)* 40
Figura 28. *Longitud de la mazorca tipo canguil* 41
Figura 29. *Longitud del grano*..... 43
Figura 30. *Ancho del grano de canguil*..... 44
Figura 31. *Porcentaje de reventado de la familia 71*..... 48
Figura 32. *Análisis de componentes principales para la población de medios hermanos de maíz raza canguil rojo, relación componente 1 y 2* 50
Figura 33. *Análisis de componentes principales para la población de medios hermanos de maíz raza canguil rojo, relación componente 1 y 3* 50
Figura 34. *Análisis de componentes principales para la población de medios hermanos de maíz raza canguil rojo, relación componente 2 y 3* 51
Figura 35. *Dendograma del análisis de conglomerados para las 11 variables en las 102 familias de maíz raza canguil rojo*..... 52
Figura 36. *Dendrograma de 24 familias de canguil rojo que forman el Grupo 1* 53

Figura 37. *Dendrograma de 65 familias de canguil rojo que forman el Grupo 2* 54
Figura 38. *Dendrograma de 13 familias que forman el Grupo 3* 55
Figura 39. *Incidencia de gusano cogollero en las 102 familias de maíz raza canguil rojo, campaña agrícola 2024-2025* 56
Figura 40. *Afectación en el cultivo por gusano cogollero (Spodoptera frugiperda Smith)* 57
Figura 41. *Incidencia de mancha de asfalto en familias de maíz raza canguil, campaña 2024-2025* 58
Figura 42. *Mancha de asfalto en maíz raza canguil* 58
Figura 43. *Porcentaje de emergencia según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo* 60
Figura 44. *Días a la floración femenina según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo* 61
Figura 45. *Días a la floración masculina según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo* 62
Figura 46. *Diámetro de la mazorca según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil* 64
Figura 47. *Longitud de la mazorca según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo* 65
Figura 48. *Número de granos por hilera según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo* 66
Figura 49. *Longitud del grano según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo* 68
Figura 50. *Peso de la mazorca según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo* 69
Figura 51. *Rendimiento del grano según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo* 70
Figura 52. *Porcentaje de mazorcas rojas según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo* 72
Figura 53. *Porcentaje de reventado según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo* 73

ÍNIDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Clasificación Taxonómica del cultivo de maíz (Zea mays* L.*)* 8
Tabla 2. *Características geográficas de la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante*..... 19
Tabla 3. *Características climáticas de la zona de estudio* 19
Tabla 4. *Materiales utilizados durante la investigación de canguil* 19
Tabla 5. *Características generales del ensayo y de las unidades experimentales*..... 20
Tabla 6. *Descripción de la unidad experimental* 22
Tabla 7.*Fertilizantes utilizados para el cultivo de maíz raza canguil rojo*..... 32
Tabla 8 . *Insecticidas utilizados para el control de plagas en el cultivo de maíz tipo canguil* 33
Tabla 9. *Características fenológicas del maíz: emergencia, antesis y floración*..... 36
Tabla 10. *Parámetros morfológicos y productivos del maíz evaluados en el maíz* 37
Tabla 11. *Indicadores productivos de la mazorca* 39
Tabla 12. *Componentes de calidad y rendimiento del grano en (Zea mays* L. var. Everta*)* 43
Tabla 13. *Porcentaje del color de la mazorca en maíz tipo canguil rojo* 45
Tabla 14. *Porcentaje de reventado de maíz tipo canguil* 46
Tabla 15. *Resultados del análisis de componentes principales para variables cuantitativas* . 48
Tabla 16. *Vectores propios para los tres primeros componentes con 11 variables de 102 familias* 49
Tabla 17. *Variables promedias para variables cuantitativas de maíz raza canguil rojo* 59
Tabla 18. *Características de las familias promisorias del maíz tipo canguil*..... 75

EVALUACIÓN DEL QUINTO CICLO DE SELECCIÓN POR MEDIOS HERMANOS DEL CULTIVO DE MAÍZ RAZA CANGUIL ROJO *(Zea mays* L. var. Everta*)*, EN CHALTURA-IMBABURA

Montaguano Tuquerres Nataly Vanessa
*Universidad Técnica del Norte
Correo: nvmontaguanot@utn.edu.ec

RESUMEN

La riqueza genética del maíz en Ecuador reporta 29 razas, de las cuales 17 pertenecen a la Sierra. El maíz canguil rojo (*Zea mays* L. var. Everta) es un recurso andino con alto valor nutricional. Sin embargo, enfrenta una grave amenaza de erosión genética y pérdida de variabilidad, manifestada en un bajo porcentaje de reventado con 39.85 %, lo que obliga a la importación del grano para cubrir el consumo nacional per cápita 14.5 kg. Esta investigación evaluó el quinto ciclo de selección por medios hermanos (MH) del cultivo de maíz raza canguil rojo en Chaltura-Imbabura, empleando la metodología de medios hermanos. Se analizó 102 familias a través de 17 variables cuantitativas y una cualitativa. El porcentaje de reventado y porcentaje de mazorcas rojas fueron las variables críticas para la identificación de materiales élite. Los resultados agroproductivos mostraron una estabilización del ciclo ontogénico con 80 días a la antesis y con alturas de 2.6 m. El rendimiento promedio alcanzó 4.51 t. ha^{-1} con 2 mazorcas por planta. En términos de calidad, se registró un porcentaje de reventado promedio de 59.29 %, cuantificado bajo una humedad del grano del 12 %. Respecto al carácter de mazorcas rojas, se obtuvo un promedio de 77.64 %, con ocho familias que lograron el 100 % de expresión roja. El análisis estadístico multivariado permitió discriminar y seleccionar 52 familias élite para continuar con los ciclos de selección hasta conseguir la homogeneidad y disponer de una variedad mejorada con fines productivos y competitivos para el país.

Palabras clave: Caracterización, mejoramiento genético, porcentaje de reventado, evaluación agronómica, germoplasma nativo.

EVALUATION OF THE FIFTH CYCLE OF SELECTION BY SIBLINGS OF THE RED CANGUIL VARIETY OF CORN *(Zea mays* L. var. Everta*)* IN CHALTURA-IMBABURA

Montaguano Tuquerres Nataly Vanessa
*Universidad Técnica del Norte
Correo: nvmontaguanot@utn.edu.ec

ABSTRACT

The genetic diversity of maize in Ecuador comprises 29 races, 17 of which are found in the Sierra region. Red popcorn maize (*Zea mays* L. var. Everta) is an Andean resource with high nutritional value. However, it faces a serious threat of genetic erosion and loss of variability—manifested by a low popping rate of 39.85 %—necessitating grain imports to meet the national per capita consumption of 14.5 kg. This study evaluated the fifth cycle of half-sib (HS) selection for the red popcorn maize race in Chaltura, Imbabura, using the half-sib methodology. A total of 102 families were analyzed based on 17 quantitative variables and one qualitative variable. The popping rate and the percentage of red ears were the critical variables for identifying elite materials. Agro-productive results showed a stabilization of the ontogenic cycle, with 80 days to anthesis and a plant height of 2.6 m. Average yield reached 4.51 t ha^{-1}, with two ears per plant. Regarding quality, an average popping rate of 59.29% was recorded at a grain moisture content of 12%. Concerning the red ear trait, an average of 77.64% was observed, with eight families achieving 100% expression of the red color. Multivariate statistical analysis enabled the discrimination and selection of 52 elite families for continued selection cycles, aiming to achieve uniformity and produce an improved, competitive variety for the country.

Keywords: Characterization, genetic improvement, popping percentage, agronomic evaluation, native germplasm.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El maíz (*Zea mays* L.), es una gramínea cultivada a nivel mundial y originaria de México (Carrillo, 2009). A nivel global, este cultivo posee relevancia económica, social, alimenticia y cultural (Zambrano et al., 2021). Gonzáles et al., (2016) consideran al maíz como un elemento estratégico para la soberanía y seguridad alimentaria en sus diversas formas de usos. Este cultivo juega un papel crucial**, y** varios programas de investigación y mejora genética se han centrado en cultivar variedades con propiedades agronómicas superiores sin sacrificar la diversidad genética (Deras, 2010).

Ávila (2014) menciona que, dentro de los cereales, el maíz ocupa el segundo lugar en cuanto a la superficie sembrada, después del trigo, sin embargo, posee el primer lugar en rendimiento del grano por hectárea. El maíz posee relevancia económica a nivel mundial debido a que genera ingresos ya sea como alimento para humanos, animales especialmente para bovinos o como fuente de un gran número de productos industriales.

En el Ecuador dentro de la diversidad genética del maíz, se destaca la raza canguil rojo (*Zea mays* L. var. Everta), una especie nativa andina valiosa de tipo reventón, tradicionalmente cultivado en la Sierra norte, específicamente en la provincia de Imbabura, donde ha tenido un valor cultural y gastronómico (Yánez et al., 2013). Sin embargo, su conservación y mejoramiento genético conlleva un gran desafío, siendo su causa principal la erosión genética que amenaza directamente a las razas locales. La producción de este cultivo se realiza a pequeña escala, lo cual se debe tanto a la baja demanda del producto como a la falta de un precio justo. Según Sánchez (2012), frente a esta problemática menciona que, programas de mejoramiento genético de maíz han recurrido a metodologías como la selección por medios hermanos con el fin de conservar la viabilidad genética y mejorar caracteres agronómicos claves (Guzzon et al., 2021; Zambrano et al., 2021).

Ecuador inhibe una extensa diversidad genética debido a su localización geográfica y condiciones de entorno. Por lo tanto, se pueden observar diversas variedades de canguiles tales como el color amarillo, blanco y rojo, que anteriormente eran comunes. No obstante, con el transcurso del tiempo aparecieron nuevas variedades como los tonos amarillo-pálidos y rosados, resultado de la mezcla entre los anteriores (Tapia et al., 2017; Paredes et al., 2015). De

acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2020), se cultivan en la región Sierra del Ecuador diversas variedades de maíz, tanto autóctonas como mejoradas. Dentro de las variedades autóctonas sobresalen el cuzco ecuatoriano, el canguil ecuatoriano, el racimo de uvas, chillos, morocho, patillo, chulpi; entre las variedades mejoradas se incluyen INIAP-122 "chaucho mejorado", INIAP-102 "blanco blandito mejorado", INIAP-153 "Zhima mejorado", INIAP-180 y INIAP-103.

En estudios llevados a cabo por el Departamento de Nutrición y Calidad de la EESC del INAP establecieron los porcentajes de proteína y almidón de diversas variedades de maíz cultivadas en zonas de altura. Dentro de los hallazgos, se destacan que la raza canguil exhibe porcentajes aceptables de Proteína (10.72 %) y almidón (62.88 %), a continuación, se encuentra la raza chulpi (P= 10.23% y A= 64.27 %), patillo (P= 10.11% y A= 66.20%), chaucho mejorado (P= 9.14 % y A= 74.63 %) y blanco blandito (P= 8.30 y A= 73.10 %) (Yánez, 2007).

Hasta la fecha en Ecuador, se han identificado 29 razas de maíz hasta el momento, 17 de estas se sitúan en la Sierra mostrando así que esta región que tiene una enorme riqueza genética, que ha permitido que el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), cree nuevas variedades de maíces mejorados, las 12 razas restantes corresponden a maíces de zona tropical (Yánez, 2008). Particularmente en las zonas de Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi y Bolívar, aquí se cultiva el maíz blanco harinoso y en la Sierra Cañar y Azuay cultivan el maíz denominado "Zhima" (blanco amorochado) (Figueroa et al., 2022). En la provincia de Imbabura se ha realizado la colecta de maíz raza canguil rojo también conocido como maíz palomero (Yánez, 2007).

Una de las metodologías empleadas para procesos de mejoramiento genético es la selección de medios hermanos. Este es un método que ha demostrado ser efectivo en la selección de individuos genéticamente superiores (Bernardi, 2010). Comprende una combinación de prueba de progenies de medios hermanos y selección masal usada para ser más eficiente en el incremento de la frecuencia alélicas, siendo favorables para caracteres de baja heredabilidad y la obtención de materiales mejorados (Lagos, 2020).

Castañeda (2020), menciona que colectó germoplasma de maíz raza canguil rojo en las ferias de semillas realizadas en cantones de Otavalo y Cotacachi pertenecientes a la provincia de Imbabura, en las cuales se logró identificar 55 accesiones de maíz raza canguil y estas a su vez fueron clasificadas por colores y posterior a esto se realizó un análisis de conglomerados.

Posteriormente, de las 55 accesiones colectadas, se seleccionaron 35 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) raza canguil, ya que sus granos presentaron características como coloración roja en el grano y un porcentaje de reventado mayor al 50%. En el primer ciclo la familia (M12) reportó rendimientos superiores a 10.54 t ha^{-1} seleccionándose 5 familias élite con porcentajes de reventado mayores al 50 %. El material colectado servirá para un siguiente ciclo de selección (Lima, 2021).

De investigaciones previas realizadas por la Universidad Técnica del Norte conjuntamente con el Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias, INIAP- Programa de Maíz, se realizó un segundo ciclo de selección aplicando la metodología de MH seleccionando 136 familias de maíz raza canguil evaluado en campo por Velásquez (2023), donde se evaluaron 15 variables de las cuales el porcentaje de reventado y la coloración en el grano fueron de gran interés para la selección de materiales promisorios para los siguientes ciclos. Los resultados permitieron identificar que el porcentaje de reventado presentó un rango entre 60 y 80 %, mostrando así que 19 familias se clasificaron como materiales promisorios. Los materiales presentaron rendimientos entre 2 y 5 t ha^{-1}.

Trujillo (2024), realizó el tercer ciclo de selección de medios hermanos MH en la cual se seleccionaron 117 familias de maíz raza canguil rojo donde se evaluaron 18 variables cuantitativas, siendo las variables de mayor interés el porcentaje de reventado y el porcentaje de mazorcas rojas. Los resultados finales permitieron determinar que 69 familias presentaron porcentajes de reventado y porcentajes de mazorcas rojas superiores al 60 %. Los materiales presentaron rendimientos entre 2.33 t ha^{-1} y 8.47 t ha^{-1}.

En el cuarto ciclo de selección por medios hermanos del maíz raza canguil rojo en Chaltura-Imbabura, Factos (2025) evaluó 111 familias con 10 variables agronómicas. Los resultados finales permitieron identificar que 74 familias presentaron porcentajes de reventado superior al 60 % y 85 familias mostraron más del 60 % de mazorcas rojas. Las variables agronómicas incluyeron días a la floración femenina, altura de planta, número de mazorcas por planta, entre otras; el rendimiento promedio fue de aproximadamente 4.72 t ha^{-1}. En este ciclo se seleccionaron 69 familias élite para continuar con el proceso de mejoramiento genético.

1.2 Problema de investigación

En Ecuador, los canguiles de distintos colores solían ser muy comunes, entre ellos el maíz raza canguil rojo, que estuvo presente en las chakras de los agricultores. Sin embargo, esta variedad de maíz es poco eficiente en el proceso de reventado. La casi extinción o perdida de material

genético del maíz raza canguil rojo es un fenómeno nacional. Ya que hace 25 años, la producción de este tipo de maíz superaba las 300 hectáreas, lo que evidencia que la pérdida de este material genético es un fenómeno a nivel nacional. Como consecuencia, ya no se encuentra reflejado en las estadísticas agrícolas del país (Sánchez, 2012).

El maíz raza canguil rojo se caracteriza por presentar granos largos y forma puntiaguda, con colores amarillo, blanco y rojo, una de las limitantes que presentan los cultivos nativos tipo reventón es que, al momento de la cocción, los líquidos que se encuentran en su interior se calientan, pero no pueden salir al exterior por la capa dura por la que son recubiertas, por tal motivo presentan un bajo porcentaje de reventado con el 39.85%, esto se debe a la perdida de variabilidad genética (Lema, 2017). Por otro lado, pese a ser una golosina muy apetecida por personas de distintas edades, los agricultores le dan poca importancia ya que presenta un bajo porcentaje de reventado. En Ecuador, el consumo per cápita del maíz bordea los 14.5 kg/año, y es utilizado para la elaboración de productos como: tostado, canguil, mote, harina, bebidas, o en estado tierno como choclo (Yánez et al., 2013).

Según Eyherábide (2018) la disminución en la producción del maíz raza canguil se debe a diversos factores, entre los cuales destacan el alto costo de inversión para el control de plagas y enfermedades, sustitución por variedades más productivas **y** las condiciones climáticas **y** medioambientales adversas. Además, el precio del canguil nativo en el mercado ecuatoriano **es** considerablemente bajo**,** con una libra valorada en aproximadamente 1.50 $**,** lo que no representa una compensación justa para los productores (Sánchez, 2012). A ello se suma la comercialización del canguil local, que compite con la producción, cuyo precio alcanza apenas 0.50 USD. Como consecuencia, tanto los consumidores como los productores han optado por variedades de canguil que presentan mejores características de reventado.

1.3 Justificación

La Universidad Técnica del Norte a través de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, en conjunto con el programa de maíz de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), trabaja en el proceso de selección de individuos o familias que presentan mejores características morfo agronómicas, en donde se mezclen las semillas y se obtengan nuevas poblaciones con características deseadas (Valverde, 2015).

Con la finalidad de conservar y mejorar el germoplasma de nuestro país, se ha propuesto realizar mejoramiento genético con germoplasmas de maíz raza canguil rojo aplicando la metodología de selección de medios hermanos con una polinización libre (Silva, 2014). Es por ello por lo

que con el quinto ciclo de selección de medios hermanos MH en cultivo de maíz raza canguil rojo, se puede aportar con la creación de variedades con un alto porcentaje de reventado y de rendimiento con una buena heterosis en sus cruzas (García, 2002). El instituto nacional de investigaciones agropecuarias INIAP, pone a disposición de los agricultores de la Sierra la variedad mejorada de maíz tipo canguil "INIAP-198" de grano blanco, precoz de buen rendimiento. Adaptada para cultivarse en altitudes entre 2 400 y 2 900 m s.n.m, en algunas zonas maiceras de la Sierra el rendimiento promedio es de 3 279 kg ha^{-1} (Caviedes et al., 1998).

Se seleccionó el maíz raza canguil rojo o también conocido como maíz palomero ya que contiene un alto valor nutricional que puede ayudar a disminuir la desnutrición, además, contiene antocianinas que son el grupo más importante de los compuestos hidrosolubles, estos son responsables de la coloración en el grano como el color rojo, negro, púrpura y azul (Pazmiño, 2011). La incorporación de estos alimentos en la dieta resulta ser muy beneficiosa para la salud (Ortiz et al., 2011).

Además, mediante la evaluación del quinto ciclo de selección de medios hermanos se espera obtener características deseadas como son la coloración roja en el grano, un alto porcentaje de reventado, rendimiento de grano por hectárea, esto ayudará a generar poblaciones homogéneas para futuras investigaciones.

El proyecto FIASA (Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable) es un instrumento de financiamiento establecido en Ecuador, administrado por el INIAP, cuyo propósito es impulsar proyectos de investigación, innovación y transferencia tecnológica en el sector agropecuario. En la carrera de ingeniería agropecuaria, constituye una fuente de apoyo económico y orienta investigaciones enfocadas en la conservación y optimización de recursos genéticos locales (INIAP, 2022).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar del quinto ciclo de selección por medios hermanos del cultivo de maíz raza canguil rojo *(Zea mays* L. var. Everta*)*, en Chaltura-Imbabura

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el comportamiento agronómico de una población de medios hermanos de maíz raza canguil bajo las condiciones climáticas en Chaltura-Imbabura.

- Evaluar el porcentaje de reventado de canguil procedente de la selección de medios hermanos.
- Seleccionar las mejores familias de medios hermanos de maíz raza canguil para continuar con el proceso de selección de mejoramiento genético.

1.5 Hipótesis

- **H0:** Ninguna de las familias de maíz raza canguil rojo presentan un alto porcentaje de reventado y porcentaje de color rojo, por tal motivo no podrían ser considerados como material genético para futuras investigaciones.
- **Ha:** Algunas familias de maíz raza canguil rojo presentan un alto porcentaje de reventado y porcentaje de color rojo, por tal motivo estos podrían ser considerados como material genético para futuras investigaciones.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

El maíz es uno de los cultivos más demandados a nivel mundial debido a que posee un alto contenido nutricional. Forma parte esencial de la dieta básica de la población y de los sistemas productivos agrícolas. Desde su domesticación, hace aproximadamente 9 000 años a partir de la planta teocinte en Mesoamérica, el maíz ha sido moldeado por la selección humana para favorecer características útiles, tales como la retención de granos en la espiga y la pérdida de dispersión natural de semillas, incrementando así la dependencia humana para el manejo agrícola (Stitzer & Ross-Ibarra, 2018; Xu et al., 2022).

En el contexto ecuatoriano, el maíz es considerado uno de los cultivos transitorios más significativos dentro del sector agrícola nacional, tanto por su contribución a la seguridad alimentaria como por su valor económico. Este cultivo se adapta fácilmente a distintas condiciones climáticas y diferentes tipos de suelos que sean profundos y ricos en materia orgánica; especialmente se adaptan a suelos que posean un pH entre 6 y 7 (Paliwat et al., 2001). Su desarrollo se divide en etapas vegetativas y reproductivas, desde la siembra hasta la cosecha, que comprende entre 70 y 100 días de desarrollo aproximadamente.

La producción global de maíz durante los años 2023-2024 alcanzó los 1 224 millones de toneladas, lo que implica un aumento de 64 600 millones de toneladas en relación con el año previo. Aproximadamente 800 millones de toneladas métricas al año, 730 millones pertenecen a maíz amarillo y 70 millones de maíz blanco. El maíz amarillo es destinado para la elaboración de concentrados, y el maíz blanco es destinado para el consumo humano debido a que posee un alto contenido nutricional (Caviedes et al., 2022).

2.1.1 Descripción taxonómica y botánica del cultivo de maíz

El maíz fue domesticado y venerado por las culturas prehispánicas, es una planta gramínea anual que posee un extenso sistema radicular, tallos largos y macizos, hojas lanceoladas de extremos cortantes y con vellosidades en la parte superior. Según Feldmann et al. (2018), se muestra la clasificación taxonómica del cultivo de maíz de la siguiente manera ver Tabla 1:

Tabla 1

Clasificación Taxonómica del cultivo de maíz (Zea mays L.*)*

Clasificación	Descripción
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	*Zea*
Especie	*Zea mays* L.

El maíz es una planta monocotiledónea, de producción anual, que posee un sistema radicular fibroso y porte robusto. Se caracteriza por ser una especie que posee los dos sexos en la misma planta.

a) Raíz

Es el primer componente del embrión que surge cuando la semilla germina, este sistema de raíces pueden profundizar hasta 1.8 m y presentan tres tipos de raíces entre las cuales tenemos las primarias que son las primeras raicillas que surgen, seguido brotan las adventicias que salen del nudo de la base del tallo y al último las de sostén conocidas como las de anclaje, estas penetran en el suelo y brindan estabilidad a la planta, además cumplen un rol importante en la absorción de agua y nutrientes conduciendo agua y sustancias disueltas, hacia el tallo y las hojas donde serán utilizadas para realizar la fotosíntesis (Martínez de la Cruz, 2011; Sánchez-Rodríguez et al., 2020).

b) Tallo

El tallo es erecto sin ramificación, semileñoso y totalmente cilíndrico hueco, lo que lo hace resistente frente a diversos factores ambientales, su altura es variable, oscilando generalmente entre 1.5 y 3 m dependiendo del genotipo y las condiciones agroclimáticas (Sánchez-Rodríguez et al., 2020). También se caracteriza por ser resistente y estable ya que logra sostener con facilidad el peso de las mazorcas, su estructura está conformado de la siguiente manera:

- **Epidermis:** capa impermeable y protectora
- **Pared:** capa dura por donde transitan las sustancias que lo alimentan.
- **Médula:** tejido parenquimatoso central donde se encuentran los haces vasculares (xilema y floema) encargados del transporte de agua y nutrientes (Barreto, 2020).

c) Hojas

Presenta hojas largas, lanceoladas, alternas y paralelinervia. Su función principal es realizar la fotosíntesis. Cada hoja está conformada por el limbo, vaina y la lígula que evita la entrada de agua y patógenos entre la vaina y el tallo.

d) Flores

La planta de maíz es una planta alógama monoica, esto quiere decir que en la misma planta se encuentran los dos sexos. La inflorescencia masculina, denominada panícula o espiga, se localiza en el ápice de la planta y presenta una estructura ramificada responsable de la producción y liberación de los granos de polen. Por su parte, la inflorescencia femenina consiste en espádices (mazorcas) situadas en las axilas de las hojas, los cuales albergan óvulos que, tras la fecundación, dan origen a los granos; cada ejemplar suele desarrollar de una a tres estructuras (Guzmán, 2017; Acosta, 2009).

e) Fruto

El grano de maíz de tipo cariópside, se encuentra insertado en el raquis y la tuza que forman hileras de granos los cuales en conjunto forman la mazorca, espiga cilíndrica o infrutescencia distribuidos en cantidades de 600 hasta 1 000 granos por mazorca en hileras de 14 filas, el grano de maíz está conformado por tres partes, la pared, el embrión representa entre el 8 y el 12 % del peso del grano y el endospermo que representa aproximadamente entre el 80-82 % del total del peso del grano seco y es la fuente de almidón y proteína (Obando, 2019).

2.1.2 Proceso de polinización en el maíz (Zea mays L.)

La polinización es un proceso muy importante para la formación del grano, comúnmente la polinización es anemófila esto quiere decir que su polinización es por medio del viento o por insectos, el polen viaja hacia el estigma, posteriormente va al estilo finalmente llegando a los óvulos a fecundarlos en un período de 24 horas (Clemens, 2021). La polinización cruzada se favorece por medio del viento y la gravedad que son los agentes que llevan el grano de polen al estigma lo cual permite tener una reproducción de calidad, los granos de polen pueden desplazarse a largas distancias con un rango de 200 metros lo que asegura la polinización en el maíz (Sauthier, 2004). Cada espiga produce alrededor de 2 y 5 millones de granos de polen, implicando que entre 2 000 y 5 000 granos de polen se encuentran disponibles por cada óvulo o su estigma respectivo, un jilote con un excelente desarrollo debe producir entre 750 y 1 000 óvulos los cuales cada uno producirá su propio estigma o pelo del jilote (Delgado, 2016).

Existen dos tipos de polinización: la natural y la artificial. En el proceso natural, las anteras liberan el polen, el cual se deposita sobre los estigmas, fertilizando los óvulos (Córdova et al., 2012). En algunos casos, un órgano puede no haber alcanzado su madurez completa. Es importante destacar que aproximadamente el 95 % de los óvulos de una mazorca se polinizan de forma cruzada, mientras que solo el 5 % experimenta autopolinización. En la polinización artificial, la intervención humana juega un papel crucial. En este proceso, se recoge el polen de las espigas utilizando una bolsa, y manualmente se poliniza la mazorca seleccionada Rodríguez et al. (2015). Este método se utiliza con fines de mejoramiento genético, así como para regenerar o multiplicar accesiones de germoplasma (Acosta, 2013).

2.1.3 Razas de maíz a nivel nacional

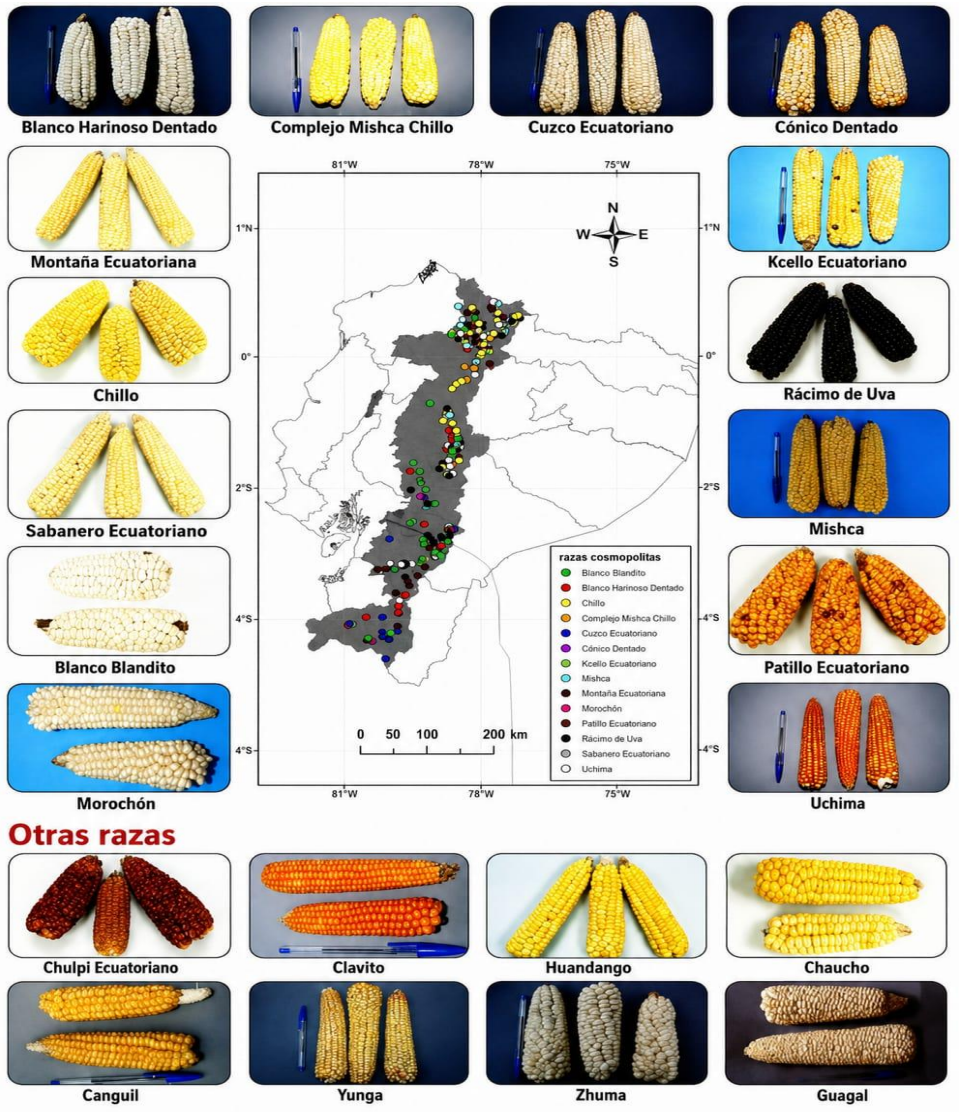
El maíz es uno de los cultivos más imponentes dentro del país y a nivel mundial debido a que es un cereal con múltiples beneficios para la salud, además de que es una buena alternativa de alimentación. Ecuador es un país que posee una gran riqueza genética debido a que hasta la actualidad se han identificado 29 razas de maíz (*Zea mays* L.) distribuidas en las regiones Costa, Sierra y Amazonía. Cuzco ecuatoriano, Canguil, Racimo de uva, chillo, Chulpi, Huandango, Mishca son algunas razas de maíz que se han registrado en Ecuador, de las 29 razas de maíz 17 pertenecen a la Sierra Ecuatoriana, convirtiéndolo así en una región con mayor riqueza genética. Esta diversidad es el resultado de procesos de domesticación, selección por parte de los agricultores y adaptación a diferentes condiciones agroecológicas.

2.1.3.1 Variedades nativas

El Ecuador posee una amplia variabilidad y diversidad genética de maíz debido a su ubicación geográfica y a las buenas condiciones ambientales que esta presenta, dentro de las principales variedades criollas o nativa que tenemos en la Sierra son: Blanco de leche, Chazo, Cuzco Ecuatoriano, Tusilla, Canguil Ecuatoriano, Racimo de uva, Chillos, Chaucho, Huandango, Morochón, Patillo, Chulpi, entre otras variedades que conserva el INIAP (Figura 1) (Zambrano et al., 2021).

Figura 1

Distribución de variedades nativas en Ecuador conservadas por INIAP



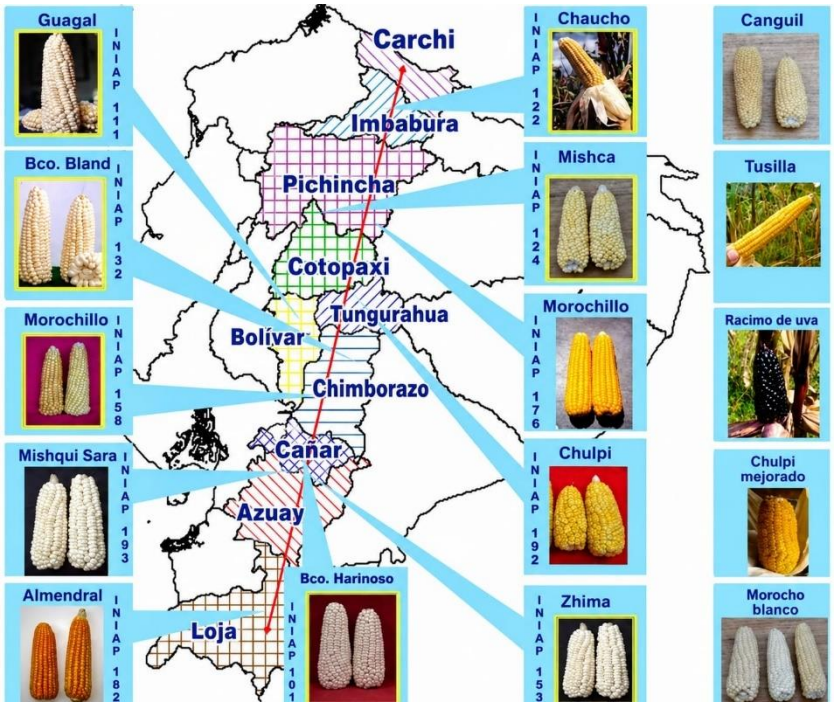
Fuente: Zambrano et al. (2021). *Recursos genéticos de maíz en la Sierra de Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Dirección Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) y Centro KOPIA-Ecuador.

2.1.3.2 Variedades mejoradas

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador INIAP ha creado variedades mejoradas con diferentes tipos de adaptación a distintas alturas, precocidad, rendimiento, tamaños entre otros caracteres que mediante procesos de mejoramiento genético han logrado fijar creando algunas variedades mejoradas como: INIAP-122 “Chaucho mejorado”, INIAP-124, “Mishca mejorado”, INIAP-102 “Blanco blandito mejorado”, INIAP-111 “Guagal mejorado”, INIAP-153 “Zhima mejorado”, INIAP-180, INIAP-182, INIAP-103 “Mishqui sara” e INIAP-199 “Racimo de uva” (Figura 2)(Zambrano et al, 2021).

Figura 2

Distribución de las variedades de maíz generadas por el INIAP para la sierra ecuatoriana



Fuente: Yánez et al. (2013). *El cultivo de maíz de altura*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

2.2 Maíz raza canguil ecuatoriano

El maíz raza canguil también conocido como maíz palomero o de tipo reventón es una especie nativa andina, una variedad que se adapta a los partir de los 2 260 m s.n.m., produce mazorcas cilíndricas y delgadas, así como una variabilidad de colores como blanco, amarillo, morado y rojo, granos puntiagudos, hojas angostas, una característica importante de esta variedad es el tamaño de la panoja y la producción de polen en gran cantidad, el tallo de la planta de canguil es delgado, pequeño y no es muy resistente (Bautista-Ramírez, 2019). Sus granos poseen características especiales que, al ser sometidos al calor, permiten convertirlos en palomitas una golosina muy popular para deleitar en familia, entre amigos o especialmente en el cine.

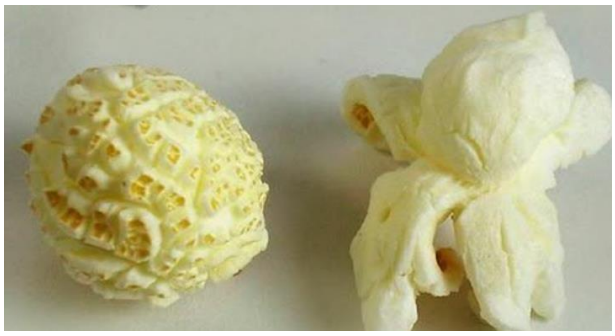
Esta raza de maíz no está considerada como cultivo comercial debido a varios factores limitantes como son: el tamaño, volumen, contenido de humedad del grano, capa endurecida que produce bajo porcentaje de reventado entre otros, por tal motivo los agricultores le dan poca importancia, se lo consume en forma de palomitas (Bautista-Ramirez, 2019).

El producto se divide en dos grupos según el proceso de cocción (Figura 3):

- Mariposa, que produce una roseta esponjosa con alas que se proyecta desde el centro hacia el borde.
- Seta o caramel, se produce en forma de roseta compacta y redondeada. No tiene alas, por tanto, a la hora de manipularlos no se quiebran.

Figura 3

Clasificación del grano de canguil reventado de acuerdo a la forma



Fuente: Sweley et al. (2013) y American Chemical Society (2024), donde se describen las dos principales formas de palomitas de maíz: tipo mariposa (butterfly) y tipo hongo (mushroom).

2.2.1 Importancia del canguil para el Ecuador

El maíz raza canguil o maíz palomero en Ecuador es un pilar fundamental en la cultura, economía y gastronomía ecuatoriana. Destaca como un alimento tradicional de consumo masivo, base de la industria de snacks, además de que es una fuente rica en fibra y antioxidantes lo que lo convierte en un aperitivo saludable a la hora de prepararlo de manera natural.

El agro ecuatoriano le da poca importancia ya que existe una baja demanda de este producto en el mercado. Hace 25 años en la provincia de Imbabura la producción superaba las 300 hectáreas del maíz palomero, sin embargo, con el paso del tiempo este material genético ha desaparecido debido a varios factores que limitaban su producción, el maíz tipo canguil en la actualidad no aparece en las estadísticas (Sánchez, 2012).

La preservación de esta variedad es fundamental para mantener la diversidad genética de los cultivos en Ecuador (Gualotuña et al., 2021). Las palomitas de maíz son un snack popular entre personas de todas las edades, tienen una gran acogida en los cines, donde se disfrutan durante la proyección de películas, o también en reuniones sociales con amigos y familiares. En Ecuador, el 19 de enero se celebra el Día del Maíz Raza Canguil, también conocido como maíz palomero. Este maíz es reconocido no solo por su sabor, sino también por su valor nutricional, que incluye un 10.72 % de proteína y un 62.88 % de almidón. Debido al alto consumo de

canguil, Ecuador realiza varias importaciones para suplir la escasez de producción interna (Yánez, 2007).

2.2.2 Requerimientos para establecer el cultivo de maíz raza canguil

2.2.2.1 Clima. Este cultivo requiere una temperatura que oscila entre los 15 y 32 °C y precipitaciones mayores a 600 mm anuales durante todo el ciclo vegetativo (Aguilar, 2019).

2.2.2.2 Suelo. El maíz tiene una alta adaptabilidad, por tanto, se adapta a todo tipo de suelos, de preferencia suelos con pH entre 6 a 7, para el crecimiento radicular se necesita suelos profundos, con excelente materia orgánica, una buena circulación del drenaje para no producir encharcamientos que pueden provocar la podredumbre radicular (Aguilar, 2019).

2.2.2.3 Riego. El cultivo de maíz tiende a ser susceptible al estrés causado por la sequía en cualquier momento de su ciclo vegetativo ya que es un cultivo exigente en agua sobre todo en la etapa de floración o fructificación, la cantidad consumida por la planta durante su ciclo esta aproximadamente en 600 mm, hay que tener cuidado si llega a tener dos días de estrés hídrico en la fase de floración ya que puede disminuir el rendimiento en más de un 50 % (Reyes, 2018).

2.2.2.4 Siembra. Se recomienda realizar la siembra entre los meses de septiembre y enero. Asimismo, es necesario que el suelo se encuentre previamente removido y con adecuada humedad, a fin de favorecer una germinación más rápida y uniforme de la semilla. Se sugiere depositar dos semillas por punto, manteniendo una distancia de 0.50 m entre plantas y 0.80 m entre surcos, a una profundidad aproximada de 3 a 5 cm (Aguilar, 2019).

2.2.2.5 Fertilización. Es recomendable realizar un análisis de suelo dos meses antes de la siembra para determinar los requerimientos nutricionales del suelo. En suelos con fertilidad intermedia se recomienda aplicar 80 kg/ha de N y 40 kg/ha de (P_2O_5) o también se puede aplicar 2 sacos de 18-46-00 más 3 sacos de urea, el nitrógeno debe estar divido en un 50% que será destinado para la siembra y el restante para después de los 45 días, el fertilizante se recomienda poner a 10 cm fuera de la base del tallo en forma de chorro continuo en suelo húmedo (Yánez, 2007).

2.2.2.6 Cosecha. La cosecha se hace cuando hayan transcurrido 215 días desde la siembra hasta la cosecha, para este momento la planta ya se debe encontrar en la etapa final de madurez fisiológica, el grano deber tener un porcentaje de humedad de 14 %**.** Además, también

se recomienda cortar la parte superior de las plantas (espiga, flor masculina o panoja) ya que ayuda a bajar el porcentaje de humedad del grano (Peñaherrera, 2011).

2.3 Mejoramiento genético

El mejoramiento genético es la ciencia que permite la mejora de plantas y animales generados a partir de la selección de individuos superiores en cuanto a productividad, calidad y resistencia a plagas y enfermedades, alrededor del mundo se han llevado a cabo varias investigaciones en el área de mejoramiento genético con el fin de desarrollar variedades e híbridos de maíz *(Zea mays* L.*)* con un alto rendimiento que incrementen la productividad y calidad garantizando la seguridad alimentaria (Sevilla & Holle, 2004).

El 50 % del incremento en la productividad del cultivo de maíz *(Zea mays* L.*)* es debido a técnicas implementadas de mejoramiento genético como selección masal, selección medios hermanos, fases de laboratorio in vitro, que han proporcionado variedades mejoradas que en la actualidad brindan una buena alimentación a la población. Todos estos procesos de selección se encuentran ligados a las necesidades del consumidor y a las exigencias del mercado (Cassaday et al., 2001).

2.4 Métodos de selección

2.4.1 Selección masal

Todo método de mejoramiento en plantas debe iniciarse con una población que presente variabilidad genética. Estas poblaciones heterogéneas existen de forma natural o se enriquecen con la cruza entre plantas en polinización libre. Es importante tener en cuenta la aparición de mutaciones. Alrededor del tiempo se ha desarrollado varios métodos, unos complejos y otros simples, hacía mucho tiempo atrás el hombre observaba que había mejores plantas con altos rendimientos dentro de una población, esas plantas eran producto de la selección natural, entonces el hombre seleccionaba las mejores semillas y posterior a eso las sembraba, dando como resultado una nueva población mejor que la anterior.

La selección masal, es uno de los métodos de mejoramiento genético más antiguos desarrollado por el hombre, este método resulta ser muy práctico y simple tanto que consiste en eliminar plantas indeseables o seleccionar las mejores plantas dentro la una población (Saquimux, 2011). Con la semilla de las plantas seleccionadas se procede a mezclarlas y sembrarlas en el siguiente ciclo de siembra, de esta manera se forma una nueva generación con un aumento de individuos con mejores características morfo agronómicas (Saquimux, 2011).

2.4.2 Selección de medios hermanos

Este método consiste en identificar plantas superiores que comparten un progenitor en común, generalmente se trata de un progenitor femenino, pero con diferentes padres (Aguirre, 2021).

Cuando solo tiene en común a un progenitor se denominan medios hermanos este método se utiliza para fijar caracteres deseados y seleccionar las familias élite que presenten las mejores características morfo agronómicas entre las demás, esto se da en las plantas alógamas que deben tener una polinización libre, entonces las semillas producidas por la planta son los medios hermanos, la principal ventaja de este método es la obtención de la variancia genética aditiva y de la heredabilidad de los caracteres a seleccionar (Peña-Lomelí, 2013).

2.5 Importancia de las antocianinas en el canguil

Las antocianinas son pigmentos naturales hidrosolubles pertenecientes a la familia de los flavonoides, responsables de las coloraciones rojas, púrpuras y azules en diversos granos y vegetales (Khoo et al., 2017). En los alimentos, su estabilidad y color dependen de factores como el pH, la temperatura y la estructura del tejido vegetal. En el caso de maíz canguil rojo, se localizan principalmente en la capa de la aleurona o en el pericarpio (la capa dura externa del grano), estas sustancias no solo definen el valor estético del grano, sino que también les otorgan un alto valor nutricional debido a sus propiedades antioxidantes capaces de neutralizar radicales libres (Xóchitl et al., 2022). Además, también actúan como agentes protectores contra el estrés oxidativo en el cuerpo humano, ofreciendo beneficios potenciales en la prevención de enfermedades crónicas (Bhushan et al., 2024).

No obstante, su presencia está ligada a una capa externa dura que puede limitar el porcentaje de reventado al 39.85 %, lo que ha impulsado programas de selección genética para mejorar la expansión sin perder estas propiedades (Lema, 2017). Además, la recuperación de estos pigmentos a través de la selección de familias es una estrategia clave para combatir la erosión genética que ha afectado la producción nacional en las últimas décadas (Sánchez, 2012).

2.2. Marco legal

Esta investigación se fundamenta en el contexto legal de Ecuador, que resguarda la agrobiodiversidad y controla la actividad de mejora genética para la seguridad alimentaria, Capítulo tercero: La seguridad alimentaria. El artículo 281 establece que la soberanía alimentaria es un objetivo estratégico y un deber del Estado asegurar que individuos, comunidades, pueblos y nacionalidades logren de manera constante la autosuficiencia de

alimentos saludables y culturalmente adecuados. Esto se debe a que el estado promueva la diversificación y la incorporación de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria, fomentando la conservación y restauración de la agrobiodiversidad.

En contraposición, el objetivo de la Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura en su Art. 1, es salvaguardar, revitalizar, expandir y estimular la agrobiodiversidad en relación a los recursos fitogenéticos para la alimentación; garantizar la producción, el acceso constante y libre a semillas de alta calidad a través de la promoción e investigación científica. Concuerdo, el Art. 17 establece que la Autoridad Agraria Nacional, en colaboración con instituciones de educación superior, determinará las zonas de agrobiodiversidad que potencien la gestión y empleo sostenible de los recursos fitogenéticos. Asimismo, el Art. 22 detalla que se establecerán programas para fomentar la investigación y la innovación tecnológica en materia de semillas (Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, 2017), lo cual sustenta técnicamente la evaluación del comportamiento agronómico en Chaltura.

De igual manera, el Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, en su Art. 473, regula el derecho de los obtentores de variedades vegetales, otorgando protección a quien haya desarrollado una variedad que sea distinta, homogénea y estable. Este marco es fundamental para la selección de familias de canguil rojo con alto porcentaje de reventado, permitiendo que el proceso de mejoramiento genético se ajuste a los estándares de propiedad intelectual vegetal (Código Ingenios, 2016). Finalmente, esta investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, específicamente con el ODS 2: Hambre Cero, cuya meta 2.5 busca mantener la diversidad genética de las semillas y las plantas cultivadas, y el ODS 12, que promueve la producción local para reducir la dependencia de importaciones y fortalecer la seguridad alimentaria nacional.

CAPITULO III

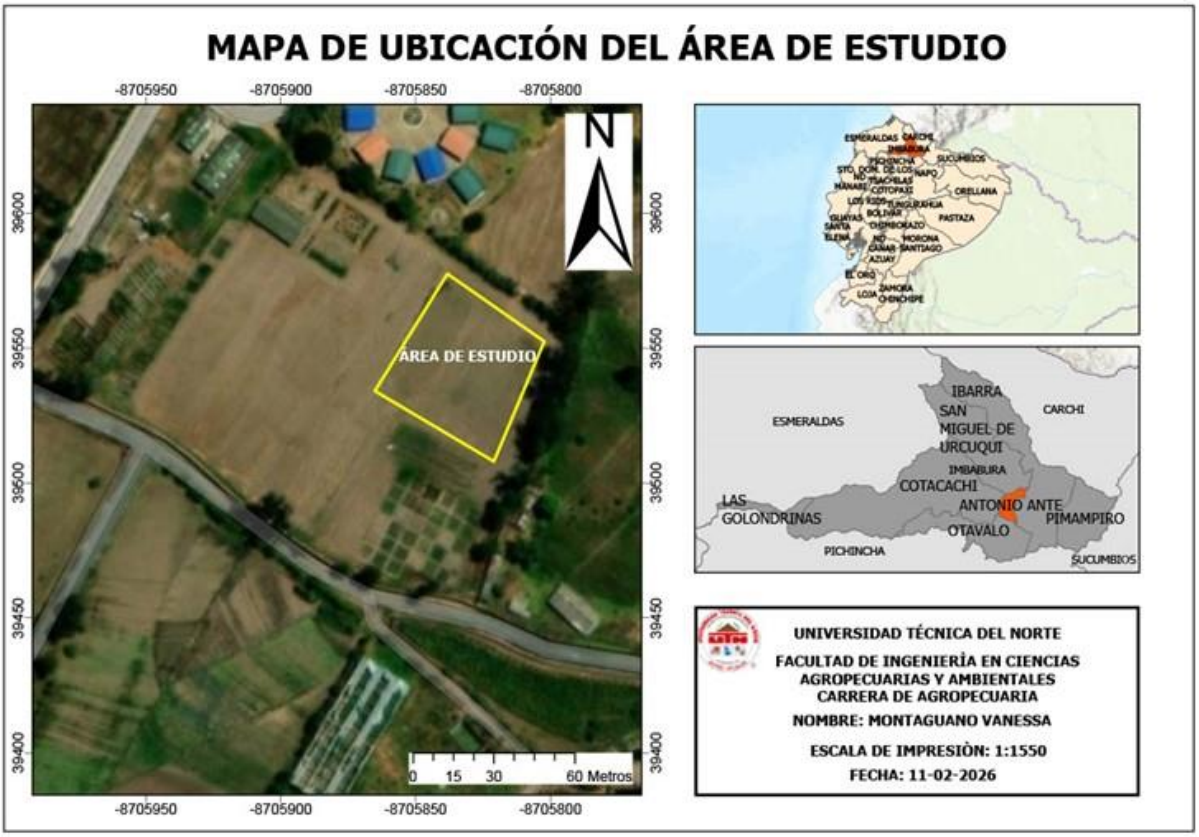
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura (Figura 4). Este lugar de estudio presenta características geográficas y climáticas idóneas para el cultivo de maíz raza canguil rojo, debido a que este cultivo se adapta a partir de los 2 260 m s.n.m. (Tabla 2 y 3).

Figura 4

Mapa de ubicación de la investigación en La Granja Experimental "La Pradera"



Según Iza (2025) en la Tabla 2, se puede observar datos de altitud, así como su localización mediante coordenadas de latitud y longitud, lo que permite situar con precisión esta importante zona andina del norte del Ecuador.

Tabla 2

Características geográficas de la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante

Provincia	Cantón	Parroquia	Altitud	Latitud	Longitud
Imbabura	Antonio Ante	San José de Chaltura	2 243 m.s.n.m.	0º 21’ 19” N	78º11’32” O

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante. (s.f.).

Se seleccionó este sitio para el desarrollo de la investigación, ya que presenta condiciones climáticas adecuadas para el cultivo de maíz, tal como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Características climáticas de la zona de estudio

Datos	Medidas
Temperatura mínima	7.5 °C
Temperatura máxima	18 °C
Precipitación	750 mm
Humedad relativa	70-90 %

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía INAMHI (2022).

3.2 Materiales

Para el correcto desarrollo de la fase de campo (Tabla 4), fue necesario contar con diversos materiales, entre ellos material genético, implementos de campo, insumos y equipos, los cuales se describen a continuación.

Tabla 4

Materiales utilizados durante la investigación de canguil

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Material genético (Semillas) Cinta métrica Etiquetas de información Calibrador (pie de rey) Libreta de campo Fundas de papel Kraft	Laptop Medidor portátil de humedad para granos Cámara fotográfica Canguilera eléctrica (capacidad de 60g y potencia de 1200 watts)	Fertilizante Insecticidas Fungicida	Azadón Rastrillo Bomba de mochila/motor Mangueras Aspersores

3.2.1 Material genético

El material genético empleado en la presente investigación estuvo conformado por semillas de maíz raza canguil rojo, obtenidas del programa de mejoramiento genético mediante selección

masal, correspondiente a la campaña de producción 2023-2024, desarrollado en la Granja Experimental “La Pradera”.

3.3 Métodos

Esta investigación se llevó a cabo de manera experimental, empleando la metodología de medios hermanos MH, para el desarrollo de la etapa intrafamiliar, en un lote del campo experimental ubicado en la parroquia San José de Chaltura, empleando una polinización libre. El objetivo de la investigación es adquirir una variedad de maíz de raza canguil rojo *(Zea mays* L. var. Everta*)* más productiva, con elevados índices de reventado y coloración roja en las mazorcas, en la parroquia San José de Chaltura, Imbabura, que forma parte del cantón Antonio Ante.

3.3.1 Factor en estudio

El factor de estudio de la presente investigación está conformado por 102 familias de maíz raza canguil rojo, originadas de material genético extraído de ciclos de selección y cosechas realizadas en investigaciones previas.

3.3.2 Diseño experimental

En la presente investigación se utilizó un diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA), en surcos de 5 m, a una distancia de 0.80 m entre surcos, se realizó la siembra de cada familia siguiendo una distribución exacta: en la cual se establecieron dos surcos hembra y un surco macho, así sucesivamente hasta completar con las 102 familias destinadas para este quinto ciclo de selección de medios hermanos MH (Figura 5).

3.3.3 Características del experimento

Se describen las características estructurales del ensayo, incluyendo el número de familias evaluadas, unidades experimentales y parámetros espaciales para contextualizar el diseño ver Tabla 5.

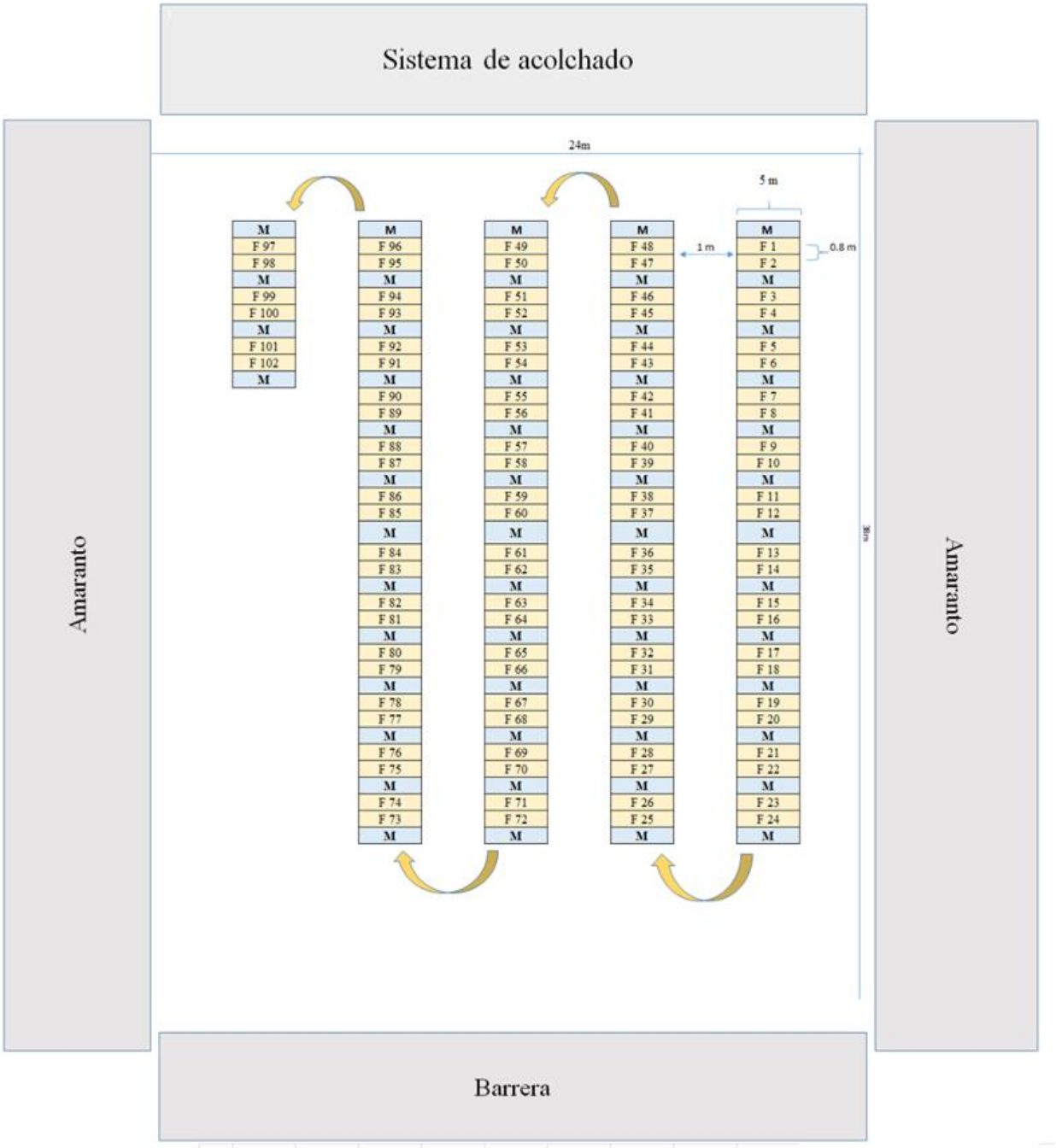
Tabla 5

Características generales del ensayo y de las unidades experimentales

Detalle	**Medidas**
Familias	102
Número de unidades experimentales	102
Distancia entre surco	0.80 m
Área total del ensayo	1 824 m^2

Figura 5

Descripción del diseño experimental de la investigación de maíz tipo canguil



M= Surco plantas masculinas

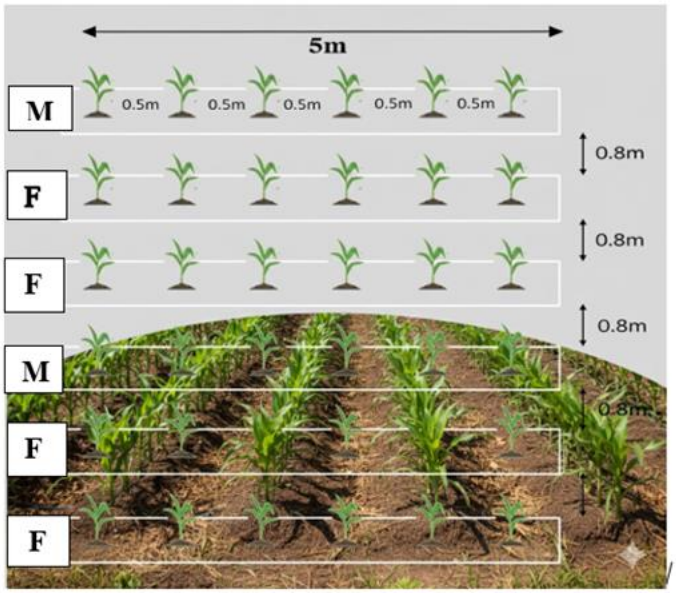
F= Surco plantas femeninas

3.3.3.1 Características de la unidad experimental

El croquis permite visualizar la organización experimental empleada en la investigación. Cada unidad experimental se plantó en surcos de 5 m de largo, la distancia establecida entre plantas es de 0.5 m y una separación entre surcos es de 0.80 m, tal como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Descripción del croquis de la unidad experimental en estudio



En la Tabla 6, se muestra las características de las unidades experimentales de esta investigación tales como el número de semillas sembradas, la distancia de siembra y el área de cada unidad experimental.

Tabla 6

Descripción de la unidad experimental

Datos	**Medidas**
Área de unidad experimental	4 m^2
Distancia entre punto	0.50 m
Número de semillas por punto	2 semillas
Número de plantas por unidad	21

3.3.4 Análisis estadístico

La caracterización morfológica de la población se realizó utilizando el programa de InfoStat vr. 2022, mediante el cual se aplicaron pruebas estadísticas descriptivas basadas en medidas resumen a nivel poblacional. Del mismo modo, se efectuaron análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y análisis de varianza (ANOVA), empleando la prueba LSD de Fisher al 5 % para evaluar las diferencias dentro y entre los conglomerados.

3.3.5 Variables a evaluarse

En la presente investigación se evaluó un total de 17 variables de las cuales 16 corresponden variables cuantitativas y una a una variable cualitativa; estas se describen a continuación.

3.3.5.1 Porcentaje de emergencia. Esta variable se evaluó a los 12 días después de la siembra (Figura 7), para lo cual se contabilizó el número de plantas emergidas de cada familia. Para determinar el porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$PG = [\frac{(\text{N° Plántulas emergidas})}{(\text{N° Total de semillas sembradas})}] * 100$$

Este cálculo permitirá determinar el número exacto de plantas con las que se trabajará por cada unidad experimental (Nolasco et al., 2016).

Figura 7

Emergencia del cultivo de maíz tipo canguil



3.3.5.2 Días de floración masculina. Para evaluar la variable días a la floración masculina se observó el desarrollo de la espiga en la parte superior, debido a que indica el inicio de la fase productiva. Para determinar días a la floración masculina se procede a contabilizar el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de espiga (panoja) estén visibles en las plantas CIMMYT (2012) (Figura 8).

Figura 8

Floración masculina de maíz tipo canguil



3.3.5.3 Días de floración femenina. Corresponde al número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas presenten los estigmas expuestos con una medida de 2 cm de largo (Zambrano, 2021; Figura 9).

Figura 9

Floración femenina de canguil



3.3.5.4 Altura de la planta. En la etapa fenológica de maduración, se seleccionaron 5 plantas al azar de cada unidad experimental. Posteriormente con el uso de una cinta métrica, se midió la distancia desde el punto de la inserción de las raíces (cuello) hasta la base de la espiga**.** Esta variable se registró en metros (m) y, a partir de los datos obtenidos, se calculó un promedio representativo (CIMMYT, 2017).

3.3.5.5 Número de mazorcas por planta. La evaluación de esta variable se llevó a cabo mediante el conteo de mazorcas de 5 plantas seleccionadas aleatoriamente de cada unidad experimental (Izquierdo Bonilla, 2012) (Figura 10).

Figura 10

Número de mazorcas por planta



3.3.5.6 Porcentajes de mazorcas rojas. Según CIMMYT (2017), la evaluación de mazorcas rojas debe evaluarse en la madurez fisiológica, con el fin de apreciar el color y la del grano. Del total de las mazorcas cosechadas se realizó el conteo de las mazorcas que presentan coloración roja, para posteriormente realizar el cálculo de porcentaje de mazorcas rojas que existen por unidad experimental (Figura 11).

Figura 11

Porcentaje de expresión del carácter "mazorca roja" en maíz



3.3.5.7 Peso de 100 semillas (g). Se seleccionaron 100 semillas (Figura 12), al azar de las 5 mazorcas seleccionadas de cada unidad experimental y con ayuda de la gramera se procedió a registrar el peso (gramos) (Vallejo, 2024).

Figura 12

Peso de 100 granos de maíz tipo canguil (g)



3.3.5.8 Diámetro de la mazorca. La evaluación de esta variable se realizó al final de su ciclo vegetativo, se seleccionó 5 mazorcas al azar de cada unidad experimental y con la ayuda de un calibrador pie de rey se tomó la medida del diámetro de cada mazorca misma que

fue evaluada en mm, posteriormente los datos se registrarán en la libreta de campo (CYMMIT, 2017) (Figura 13).

Figura 13

Evaluación de la variable diámetro de la mazorca



3.3.5.9 Longitud de la mazorca. Con la ayuda del calibrador pie de rey se tomó la longitud de las 5 mazorcas seleccionadas al azar de cada unidad experimental (CIMMYT, 2017) (Figura 14).

Figura 14

Evaluación de la variable longitud de la mazorca



3.3.5.10 Número de hileras por mazorca. Para evaluar esta variable se realizará el conteo de las hileras que contienen las cinco mazorcas en cada unidad experimental (Figura 15).

3.3.5.11 Número de granos por hilera. Para la evaluación de esta variable se tomó en cuenta la hilera más larga de las cinco mazorcas seleccionadas al azar, posterior a eso se realizará el conteo de los granos que contenga una de las hileras.

3.3.5.12 Peso de la mazorca con grano. Con la ayuda de una balanza digital se procederá a pesar las mazorcas seleccionadas al azar de cada unidad experimental.

Figura 15

Número de hileras por mazorca



3.3.5.13 Ancho del grano. La evaluación de esta variable se efectúo al finalizar la investigación, con la ayuda del calibrador pie de rey se determinó el ancho de 10 granos seleccionados al azar de cada unidad experimental, finalmente se realizará un promedio en mm (CIMMYT, 2017) (Figura 16).

Figura 16

Ancho del grano de maíz tipo canguil rojo



3.3.5.14 Longitud del grano. Con el calibrador pie de rey se procederá a medir la longitud de los 10 granos seleccionados al azar (Figura 17). Su unidad de mediada es en mm.

Figura 17

Longitud del grano de maíz tipo canguil



3.3.5.15 Rendimiento del grano por hectárea. El rendimiento del grano por hectárea se evaluó una vez ya cosechadas y desgranadas las mazorcas de cada unidad experimental (CIMMYT, 2017). A través de la fórmula establecida por el programa de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el rendimiento será proyectado a t ha^{-1}.

$$\boldsymbol{Rendimiento\ (t\ ha\ )} = \frac{\boldsymbol{PC * FD * MS * 1000}}{\boldsymbol{86 * AP}}$$

- **PC:** Peso de campo
- **FD:** Factor de desgrane
- **MS:** Materia seca
- **86:** Porcentaje de materia seca (constante)
- **AP:** Área de la parcela neta

Fuente: Programa de maíz cálculo de rendimiento de maíz (Yánez,2014)

3.3.5.16 Porcentaje de reventado. Se seleccionaron 100 granos de maíz con un contenido de humedad del 12 % por cada unidad experimental, los cuales fueron procesados en una canguilera eléctrica durante 2 minutos. De acuerdo con The Royal Society Interface (2015), el 96 % de los granos revientan en este intervalo de tiempo a una temperatura de 180° C (Interface, 2015; Calderón et al., 2024). Posteriormente, se procedió a contabilizarán los granos reventados con el fin de determinar el porcentaje de reventado (Figura 18).

Figura 18

Porcentaje de reventado de la familia 71



3.3.5.17 Incidencia de plagas y enfermedades. Para determinar la incidencia de plagas y enfermedades, se realizó el monitoreo fitosanitario con el fin de identificar oportunamente la presencia de plagas y enfermedades. A los 7 días después de la siembra se detectó la presencia de gusano cogollero, constituyéndose como la principal plaga en las etapas iniciales del cultivo. Posteriormente, el monitoreo se efectuó de manera periódica cada 15 días para evaluar su incidencia y la aparición de otros agentes bióticos. En cuanto a enfermedades, se registró la presencia de mancha de asfalto y tizón foliar durante el desarrollo del cultivo, lo que permitió

considerar la importancia de un seguimiento continuo dentro del manejo agronómico (Figura 19).

Figura 19

Presencia de gusano cogollero en el cultivo de maíz tipo canguil



3.3.5.18 Seleccionar las mejores familias

Para la identificación del germoplasma con potencial para futuras investigaciones, se seleccionaron aquellas familias que destacaron por presentar un rendimiento elevado, un alto porcentaje de reventado y una marcada coloración roja en las mazorcas. Esta selección se fundamentó en los datos obtenidos durante el experimento de campo y los resultados de las pruebas de expansión de grano. Además, también para la selección de materiales promisorios se recomienda quitar las 3 filas de granos de la parte inferior y superior de la mazorca y simplemente conservar la parte media para semillas para el siguiente ciclo de investigación en campo, esto se realiza con el fin de evitar que la mazorca se deforme y pierda la viabilidad genética

3.4 Manejo del experimento

Este apartado describe de manera detallada los procedimientos implementados durante la fase experimental, incluyendo las labores de siembra, aporque, fertilización, riego, control fitosanitario, monitoreo de plagas y enfermedades.

3.4.1 Obtención de la semilla

El material genético empleado para la presente investigación corresponde al cuarto ciclo de selección de medios hermanos, desarrollado durante el periodo 2023-2024 en La Granja Experimental “La Pradera”. En esta etapa se evaluaron 102 familias de las cuales se seleccionaron 102 familias que presenten las mejores características agronómicas, las cuales permiten seguir con el proceso de mejoramiento genético.

3.4.2 Preparación del terreno

La preparación de terreno se realizó con ayuda del arado y rastra para eliminar los rastrojos y residuos vegetales, el objetivo de esta actividad es que el suelo quede sin desechos para facilitar la siembra y el correcto desarrollo del cultivo (Figura 20).

Figura 20

Preparación del área del terreno para la siembra del cultivo de maíz



3.4.3 Delimitación del terreno

En La Granja Experimental “La Pradera” se delimitó el área destinada al establecimiento del ensayo para la siembra del cultivo de maíz raza canguil rojo, abarcando una superficie total de 1 824 m^2, la cual permitió el adecuado desarrollo de las actividades experimentales y la evaluación de las variables de estudio (Figura 21).

Figura 21

Delimitación del área de estudio



3.4.4 Diseño de la parcela

El diseño experimental aplicado a las 102 familias consistió de dos surcos femeninos por un surco masculino. Es importante señalar que la evaluación de la investigación se centró exclusivamente en los surcos femeninos, correspondientes al total de las 102 familias.

3.4.5 Siembra

La siembra se llevó a cabo el 4 de diciembre de 2024, en surcos de 5 m de longitud, donde se depositarán 2 semillas por punto, con una distancia de 0.5 m entre plantas y 0.80 m entre surcos (Figura 22).

Figura 22

Siembra del cultivo de maíz raza canguil rojo



3.4.6 Fertilización

Los requerimientos del maíz son: N: 94 kg/ha; P_2O_5 = 40 kg/ha; K_2O= 20 kg/ha; y S=25 kg/ha. La fertilización se realizó basándose en los requerimientos que tiene el cultivo en sus diferentes etapas fenológicas (Figura 23). De esta manera se espera obtener un producto de calidad y con las características deseadas en la investigación.

La fertilización inicial se realizó con fertilizante químico triple 15 durante la siembra, la segunda fertilización química del cultivo de maíz se realizó mediante la aplicación de fosfato diamónico (18–46–00), considerando su importancia en el desarrollo radicular durante las primeras etapas del cultivo. De manera general, se emplean dosis que oscilan entre 100 y 150 kg ha^{-1}, lo que equivale aproximadamente a una aplicación de 2.5 a 4 g por planta, en función de una densidad promedio de siembra de 40 000 plantas ha^{-1}. Este aporte de fósforo favorece el establecimiento temprano del cultivo y mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes. No obstante, la cantidad aplicada debe ajustarse en función de las condiciones específicas del suelo

y los requerimientos del cultivo (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2014; Food and Agriculture Organization, 2013) (Tabla 7).

Tabla 7

Fertilizantes utilizados para el cultivo de maíz raza canguil rojo

Fertilizante utilizado	Cantidad recomendada kg/ha	(kg/área experimental) 1 824 m^2	Etapa del cultivo
Triple 15	150	13.68	Antes de la siembra
18-46-00	100	9.12	45 días

Figura 23

Aplicación de fertilizante químico 18-46-00



3.4.7 Riego

Durante la etapa inicial, el riego se realizó mediante el sistema de aspersión; sin embargo, no fue necesario aplicarlo de manera continua debido a que el cultivo se desarrolló en épocas de lluvias durante su ciclo reproductivo. La lámina de agua suministrada resultó suficiente para asegurar un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo. En condiciones normales, el riego se programó con una frecuencia quincenal, suspendiéndose en aquellos periodos en los que se registraron precipitaciones.

3.4.8 Labores culturales

En esta fase se realizó el deshierbe y el aporque de los surcos con el fin de evitar la presencia de arvenses y proporcionar un buen desarrollo a la planta, para esto se utilizó un azadón. Dentro de estas actividades también se realizó el raleo de las plantas de maíz tipo canguil a los 45 días después de la siembra, misma que consiste en eliminar las plantas con tallos más delgados o plantas atípicas para evitar la contaminación genética (Figura 24).

De igual manera, se realizó el despanojamiento, esto consiste en retirar la parte masculina de los surcos hembra de maíz tipo canguil entre los 65 y 70 días después de la siembra (Figura 26),

para efectuar el método de selección por medios hermanos se conservó las flores masculinas de los surcos machos para que estos actúen como polinizadores de los surcos femeninos y de esta manera obtener medios.

Figura 24

Deshierbe, aporque y raleo del cultivo de maíz tipo canguil



Nota: Deshierbe y aporque (A); Raleo (B); Despanojamiento (C)

3.4.9 Controles fitosanitarios

El manejo fitosanitario se ejecutó en función del umbral de daño observado. La plaga de mayor incidencia fue el gusano cogollero (*Helicoverpa armigera*); tras el monitoreo inicial a los 10 días de la emergencia, se detectó su presencia y se procedió a una aplicación de Cipermetrina (Figura 25). No obstante, en una inspección posterior cada 15 días, se registró un incremento en el porcentaje de daño, lo que requirió una segunda intervención con Clorantraniliprol para mitigar el ataque (Tabla 8).

3.4.10 Cosecha

En la etapa de madurez fisiológica, se procedió a cosechar las mazorcas de cada unidad experimental con estudiantes de quinto semestre de la carrera de Agropecuaria conjuntamente con los técnicos del programa de Maíz del INIAP, para esta actividad se utilizó fundas plásticas para recolectar las mazorcas. Finalmente, como aún estaban húmedas, se procedió a colocarlas en el invernadero (Figura 26) de secado. Posteriormente se evaluó el porcentaje de reventado.

Tabla 8

Insecticidas utilizados para el control de plagas en el cultivo de maíz tipo canguil

Ingrediente activo	Dosis	Plagas	Época de aplicación
Cipermetrina	25 cc en bomba de 20L	Gusano cogollero	45 días
Clorantraniliprol	4 ml en bomba de 20 L	Gusano cogollero	70 días

Figura 25

Aplicación de insecticidas para el control de Gusano cogollero



Figura 26

Cosecha y secado de las 102 familias de maíz raza canguil rojo



3.4.11 Desgrane

Luego de cosechar las mazorcas de cada unidad experimental, se procedió a desgranar y secarlos nuevamente al sol hasta que obtuvieron un porcentaje de humedad de 14 %, luego se los colocó en fundas de papel kraft con sus respectivas etiquetas y se almaceno en el laboratorio de semillas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluaron un total de 102 familias de maíz raza canguil rojo (*Zea mays* L. var. *Everta*), en la cual se analizaron 18 variables de las cuales 17 son cuantitativas y 1 variable cualitativa, siendo las de mayor interés el porcentaje de reventado y el porcentaje de mazorcas rojas por familia. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en este quinto ciclo de mejoramiento genético.

4.1 Análisis poblacional de maíz tipo canguil rojo

A través del análisis de medidas de resumen, se analizaron las características cuantitativas a nivel poblacional, en el que se obtuvieron datos relacionados con la media, valores mínimos y máximos, así como el valor del coeficiente de variación (%). Los hallazgos obtenidos constituyen una base sólida para la identificación de material con atributos sobresalientes, facilitando su integración efectiva en programas de mejoramiento fitogenético.

4.1.1 Variables relacionadas con la respuesta fenológica del maíz tipo canguil a las condiciones agroclimáticas de Chaltura - Imbabura

De acuerdo con la metodología de Nielsen (2020), el análisis de las fases vegetativas y reproductivas en el maíz funciona como un termómetro del desarrollo del cultivo. Estos estadios son fundamentales para ajustar el calendario de intervenciones culturales, maximizar la eficiencia en el uso de insumos químicos y establecer correlaciones directas entre la duración de las etapas de llenado de grano y la productividad final cosechada. En la Tabla 9, se muestran las variables fenológicas de canguil rojo. El CV (%) para estas tres variables es de 5%, lo que indica que existe una variabilidad baja en cuanto a los datos registrados a nivel poblacional.

4.1.1.1 Porcentaje de emergencia (%)

El porcentaje de emergencia fue registrado a los 12 días transcurridos después de la siembra de cada unidad experimental cuando las plantas lograron emerger completamente del suelo, considerándose viable las familias que presentaron un desarrollo inicial normal.

El análisis estadístico poblacional realizado en las 102 familias de maíz tipo canguil reportó un promedio de 95.15 %, con un máximo de 100 % que está relacionado con 37 familias, reflejando ser semillas de buena calidad y mínimo de 76.19 %, ver Tabla 9. La familia que presentó menor porcentaje de germinación es la Familia 17 con 76.19%. Estos resultados muestran una

adecuada calidad fisiológica de la semilla y buena adaptabilidad del material genético a las condiciones edafoclimáticas de Chaltura.

Por su parte, Factos (2024) reportó porcentajes de emergencia de 80-100 %; del mismo modo, Lima (2021) obtuvo valores de germinación de 40-92.33 %. En este estudio, los porcentajes de emergencia fueron similares a los reportados por el autor debido a que se van adaptando de mejor manera a las distintas condiciones climáticas; además, también existe una mayor expresión genética. De igual manera, Cortez (2020) señala que un porcentaje prominente de emergencias está relacionado directamente con la nutrición óptima y con la estabilidad genómica.

Desde el punto de vista agronómico, un factor primordial para programas de selección por medios hermanos es un alto porcentaje de emergencia, debido a que garantiza una población inicial homogénea, índole necesaria para la expresión real de los caracteres morfológicos y productivos en ciclos consecutivos (Hallauer et al., 2010).

Tabla 9

Características fenológicas del maíz: emergencia, antesis y floración

Variables	Media	CV	Min	Max
Porcentaje de emergencia	95.15	5.32	76.19	100
Días a la floración femenina	85.92	5.29	79.00	100
Días a la floración masculina	80.09	5.62	65.00	82

Nota. CV: Coeficiente de Variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo.

4.1.1.2 Días a la floración femenina del maíz canguil rojo

Esta variable permite identificar el inicio del período reproductivo del cultivo de maíz tipo canguil, esta variable fue registrada cuando el 50 % de las plantas de cada unidad experimental presentaron estigmas visibles con un promedio de 2 cm de largo. El análisis estadístico mostró que la floración femenina se presentó entre los 79 y 100 días posterior a la siembra, con una media de 86 días (Tabla 9).

En la investigación realizada por Factos (2025), los estigmas se presentaron a partir de los 78 hasta los 88 días después de la siembra. Valores similares fueron reportados por Trujillo (2024), con DDF entre 84-95 días; Velázquez (2023), con valores de 85-103 días y Lima (2021) con rangos de 74-95 días.

Al contrastar los datos registrados por el INIAP (1989), se observa que la variedad mejorada de canguil blanco “INIAP-198” alcanza la floración femenina a los 105 días, lo que posiciona al

maíz canguil rojo como un germoplasma nativo de mayor precocidad. Esta reducción en la duración del ciclo fenológico representa un avance significativo en el programa de mejoramiento, cumpliendo con el objetivo de seleccionar poblaciones con periodos reproductivos más cortos y eficientes

4.1.1.3 Días a la floración masculina en maíz tipo canguil rojo

Para determinar el número de días a la floración masculina se registró cuando el 50 % de las plantas alcanzaron la antesis, definida por la dehiscencia de anteras y liberación de polen en la panícula CIMMYT (2017). En el análisis estadístico se determinó que esta variable reveló un rango fenológico de 65 a 86 días, con una media de 80 días, ver Tabla 9.

Por otro lado, Lima (2021), quien utilizó el mismo tipo de germoplasma, la floración masculina inició a los 74 días como mínimo y 90 días como máximo.

Según Hallaver et al. (2010), la evaluación de días a la floración masculina en programas de mejoramiento genético cumple un rol importante debido a que permite determinar la tardanza de los materiales, así como la sincronización con la floración femenina, misma que a su vez influye en la eficiencia de la polinización y por ende en la producción del grano. Además, estudios en variedades de canguil latinoamericanas muestran que la fenología varía de forma importante bajo ambientes con baja disponibilidad de agua, la altitud y la temperatura pueden influir de manera significativa en los días a la floración masculina (Santos et al., 2021). De acuerdo con Lima (2022), este comportamiento fenológico es característico de poblaciones bien adaptadas y genéticamente estables, lo que respalda la viabilidad del material genético para continuar posteriores ciclos de selección por medios hermanos.

4.1.2 Variables de parámetros morfológicos de canguil

Dentro del grupo de variables evaluadas están la altura de planta y número de mazorcas por planta que se describen en la Tabla 10.

Tabla 10

Parámetros morfológicos y productivos del maíz evaluados en el maíz

Variables	Media	CV	Min	Max
Altura de la planta	2.34	7.82	1.91	2.65
Número de mazorcas por planta	1.97	17.65	1.20	3.00

Nota. CV: Coeficiente de Variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo.

4.1.2.1 Altura de la planta (m)

Esta variable se evaluó en la etapa fenológica de maduración a los 120 días aproximadamente, la altura de la planta fue medida desde la base del tallo hasta la inserción de la panoja en las plantas completamente desarrolladas. El análisis estadístico muestra que la altura de la planta presentó valores entre 1.91 y 2.65 m y con una media de 2.34 m (Tabla 10).

Los resultados obtenidos en la presente investigación son similares a las investigaciones realizadas por Trujillo (2024), quien reportó alturas de 2.07 y 3.04 m; Factos (2025) registró alturas de 2.11 y 2.80 m; Velásquez (2016) registró alturas de 2.26-3.15 m; y Lima (2021) reportó alturas de 2.11-3.07 m en plantas del cultivo de maíz tipo canguil. Una altura de planta intermedia es considerada agronómicamente deseable, ya que reduce el riesgo de acame y facilita las labores culturales y de cosecha. En este sentido, la altura promedio observada en el presente estudio sugiere que la población evaluada posee características morfológicas adecuadas para continuar con el proceso de mejoramiento genético.

Si bien las alturas se mantienen dentro de los rangos, al identificar los mínimos y máximos en este periodo 2024-2025 se presentaron plantas más pequeñas en comparación con Trujillo, Velásquez y Factos, esto está relacionado principalmente con factores climáticos y nutrición de la planta. Además, a través de varios ciclos de mejoramiento genético en este quinto ciclo ya se puede visualizar que varios caracteres se han fijado. Alturas de menor tamaño son idóneas de este tipo de especie nativo.

Según Berry et al., (2004) citado por Vásquez et al., (2016); menciona que la altura excesiva en plantas de maíz tipo canguil representa una desventaja agronómica debido a que tienden a ser más propensas al acame ya sea por diversos factores climáticos tales como lluvias y vientos principalmente, por otro lado, las plantas con menor altura son ideales dentro de estos programas de selección puesto que contribuye tanto en la estabilidad agronómica como en el aumento del potencial productivo (Vega, 1972).Por su parte, Wellhausen et al. (2010) menciona que las plantas del maíz palomero alcanzan alturas de 1.7 m, lo cual facilita el manejo del cultivo.

4.1.2.2 Número de mazorcas por planta

Respecto al descriptor número de mazorca por plata, el análisis estadístico determinó valores que oscilaron entre 1 y 3 mazorcas por planta, con un coeficiente de variación de 17.65 %, lo que muestra que la variación es relativamente alta entre familias (Tabla 10). Este estudio mostró que el 42.16 % de las familias presentó al menos 1 mazorca por planta, mientras que, el 56.86

% de las familias presentó al menos 2 mazorcas por planta, por otro lado, el 0.98 % presentó 3 mazorcas por planta.

Factos (2025), presentó valores de número de mazorcas por planta que oscilan desde 1.60 y máximo de 3.60 mazorcas por planta, del mismo modo Trujillo (2024), presentó valores de números de mazorca que van desde 1.60 como mínimo y 4 como máximo, por otro lado, Velásquez (2023), encontró 1 mazorca por planta como mínimo y 2 mazorcas como máximo, al igual que, Lima (2021) quien obtuvo los mismos valores, por otra parte, Castañeda (2020) menciona que en su investigación presentaron seis mazorcas por planta de dos de las accesiones evaluadas, cifras que no se presenciaron en el presente estudio. En este sentido, la variabilidad observada permite identificar familias con mayor potencial productivo para ciclos posteriores de selección, sin embargo, el tamaño y peso de mazorca también son elementos a considerar para selección de familiar promisorias.

Por otro lado, Paliwal y Lafitte (2001) afirman que, una de las características principales del maíz reventador es que la planta puede presentar como mínimo 2 mazorcas y como máximo hasta 6 mazorcas por planta, sin embargo, estas suelen ser pequeñas o delgadas, pero con mayor número de granos. Los factores que afectan la variación genética de resistencia a la esterilidad puede ser principalmente el manejo de las densidades del cultivo, es decir, mientras mayor sea la densidad de siembra menor será la prolificidad y a menor densidad de siembra un cultivo de maíz puede dar plantas con más de dos mazorcas debido a que hay intercepción de luz y mayor absorción de nitrógeno.

4.1.3 Variables de indicadores productivos del maíz tipo canguil rojo

Las variables relacionadas con aspectos productivos son diámetro de la mazorca, longitud de la mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y peso de la mazorca, los resultados se presentan a continuación, ver Tabla 11.

Tabla 11

Indicadores productivos de la mazorca

Variables	Media	CV	Min	Max
Diámetro de la mazorca (cm)	3.16	6.52	2.71	4.00
Longitud de la mazorca (cm)	11.47	7.67	9.27	13.66
Número de hileras por mazorca	14.52	8.12	11.80	17.00
Número de granos por hilera	26.14	8.86	20.80	31.20
Peso de la mazorca (g)	48.34	15.31	34.00	71.60

Nota.CV: Coeficiente de Variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo.

4.1.3.1 Diámetro de la mazorca

En el análisis estadístico, en cuanto a la variable diámetro de la mazorca, presentó valores entre 2.71 y 4 cm, con una media de 3.16 cm (Tabla 11) (Figura 27). Los resultados determinaron que una minoría representativa del 16.67 % de las familias presentó diámetros de mazorca de 2 cm. No obstante, la mayor concentración de la población mostró valores predominantes de 3 cm, abarcando al 82.35 % de las unidades evaluadas. Por el contrario, apenas un 0.98 % de las familias alcanzó diámetros de 4 cm, lo que evidencia una marcada tendencia hacia la homogeneidad en el tamaño intermedio.

Resultados concordantes fueron expuestos por Trujillo (2024), quien registró valores comprendidos entre 2.68 cm y 6.04 cm. De manera similar, Velásquez (2023) reportó rangos de 2.73 cm a 3.65 cm, mientras que Lima (2021) obtuvo mediciones de 3.28 cm y 4.17 cm. Por otro lado, Sánchez et al. (2012) mencionan que un diámetro adecuado favorece una mejor conformación de hileras y un mayor número de granos por mazorca; estos se deben a distintos factores, como las condiciones climáticas, el manejo agronómico y los factores fitogenéticos.

Figura 27

Diámetro de la mazorca en (Zea mays L.*)*



4.1.3.2 Longitud de la mazorca

En cuanto a la variable longitud de la mazorca, el análisis estadístico reportó un rango de 9.27 a 13.66 cm, con una media de 11.47 cm (Tabla 11; Figura 28). Es así que el 2.94 % de las familias mostraron longitudes de 9 cm, mientras que el 92.16 %, presentó longitudes de mazorca de 11.47 cm como media, finalmente el 4.90 % de las familias presentó longitudes de 13 cm. Esta variable se considera un componente directo del rendimiento ya que se relaciona con el número de granos por fila y el peso total de la mazorca.

Resultados similares fueron reportados por Trujillo (2024), quien en su estudio reportó valores de 8.10 cm a 15.42 cm, Lima (2021)**,** quien obtuvo longitudes promedio entre 10.82 cm y 13 cm en maíz canguil, Velásquez (2023) con longitudes de 7.85 cm y máximos de 12.49 cm.

Por otro lado, Aguilar (2019), reportó un valor promedio de 15.21 cm para la longitud de la mazorca, esto se debe principalmente al tipo de semilla, el manejo agronómico y las distintas condiciones climáticas a las que este cultivo atravesó en el lugar de estudio. Así mismo, Vargas et al. (2015) reportan que la longitud de mazorca tiene alta correlación positiva con el rendimiento en maíz. La variabilidad moderada observada permite seleccionar familias con mayor potencial productivo dentro del canguil rojo.

Figura 28

Longitud de la mazorca tipo canguil



4.1.3.3 Número de hileras por mazorca

Esta variable se evaluó de las mazorcas seleccionadas al azar de cada unidad experimental. El análisis estadístico mostró una media poblacional de 14.52 cm, lo que muestra que las familias evaluadas presentan un tamaño relativamente homogéneo. Presentando así valores mínimos de 12 y máximos de 17, lo que muestra que, aunque existen cierta variación esta no es tan elevada, ver Tabla 11.

Varios estudios sobre razas locales señalan que aun en materiales estabilizados persiste variación entre plantas debido a la estructura genética que presenta el maíz y a su naturaleza alógama (Vilela-Mora et al., 2019). Esto implica que algunos individuos presenten menor capacidad de llenado, menor vigor o menor eficiencia en el uso de recursos. Por el contrario, las mazorcas que alcanzaron el valor máximo de número de hileras de 17.00, se le atribuye que se desarrollaron bajo condiciones óptimas como, adecuada disponibilidad de agua, buena iluminación, baja competencia y ausencia de estrés. Según Revilla & Tracy (2020), cuando el ambiente favorece la expresión del potencial genético de la planta, los rasgos reproductivos

como longitud de mazorca tienden a acercarse a su máximo fisiológico, lo que permite obtener un mayor número de hieras por mazorca.

4.1.3.4 Número de granos por hilera

En la presente investigación, la población de canguil presentó una media de 26.14 granos por hilera, con un coeficiente de variación de (CV) de 8.86 %, lo que indica que existe una variabilidad relativamente baja. Con valores mínimos de 20.80 granos y máximos de 31.20 ver, Tabla 11. Estos resultados muestran una población homogénea en la que la mayoría de las familias se sitúan cerca al promedio. En comparación con estudios previos, los valores obtenidos indica que la población evaluada se encuentra dentro del comportamiento esperado para materiales de maíz palomero donde el número de granos por hilera oscila entre 22 y 32 granos dependiendo del genotipo y el manejo agronómico (Vilela-Mora et al., 2019; Hallauer et al., 2010).

Por otro lado, Revilla & Tracy (2020), mencionan que las condiciones micro ambientales desfavorables pueden reducir el cuajado y llenado de granos.

4.1.3.5 Peso de la mazorca

El análisis estadístico mostró una media de 48.34 g, con valores entre 34 y 71.60 g y un coeficiente de variación (CV) del 15.31 %, lo que indica una variabilidad fenotípica moderada, Tollenar & Lee (2002**)** mencionan que el peso de mazorca es uno de los mejores indicadores del rendimiento real por planta ver, Tabla 11. Esta variable integra todos los componentes del rendimiento: tamaño de mazorca, número y tamaño de granos.

López et al. (2014), menciona que la disponibilidad de nutrientes, el manejo, la competencia y el estrés hídrico influyen directamente con el peso final de la mazorca.

4.1.4 Variables de componentes de calidad y rendimiento del canguil

Las variables asociadas con componentes de calidad y de rendimiento comprenden la longitud y ancho del grano, % de reventado de 100 semillas, peso de 100 semillas y rendimiento. Los resultados obtenidos se presentan a continuación, ver Tabla 12. Los coeficientes de variación obtenidos evidencian diferentes niveles de homogeneidad en las variables evaluadas: la longitud del grano (7.44 %) y el ancho del grano (9.39 %) presentan una variabilidad baja, lo que indica alta uniformidad y precisión; el peso de 100 semillas mostró un CV de 14.56 %, lo que muestra una variabilidad moderada, considerada aceptable en condiciones de campo; mientras que el porcentaje de reventado con un CV 26.87 % y el rendimiento 24.82 % registran

alta variabilidad, lo que sugiere una mayor influencia de factores ambientales, de manejo y posiblemente genéticos, generando una mayor dispersión en los resultados.

Tabla 12

Componentes de calidad y rendimiento del grano en (Zea mays L. var. Everta*)*

Variables	Media	CV	Min	Max
Longitud del grano	0.98	7.44	0.81	1.13
Ancho del grano	0.55	9.39	0.42	0.79
Peso de 100 semillas	12.01	14.56	8.00	16.00
Rendimiento (t/ha)	4.51	24.82	0.44	7.45

Nota. CV: Coeficiente de Variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo.

4.1.4.1 Longitud del grano

El análisis estadístico mostró que esta variable presentó una media poblacional de 0.98 cm de largo, un mínimo de 0.81cm y máximo de 1.13 cm (Tabla 12; Figura 29).

En estudios realizado por Trujillo (2024), presento una media poblacional de 1.06 cm de largo, así también se obtuvo valores mínimos de 0.89 cm y máximos de 1.23 cm. En este estudio 87 familias presentan valores mayores a 1 cm de largo. Por otro lado, Castañeda (2020), en su investigación mostró valores mínimos de 0.91 cm y máximos de 1.26 cm de largo. Así mismo Lima (2021), en su investigación mostró valores mínimos de 1.12 cm, y máximos de 1.40 cm, estos valores son mayores a la de la presente investigación e investigaciones ya realizadas anteriormente.

Figura 29

Longitud del grano



4.1.4.2 Ancho del grano

El análisis estadístico de la variable ancho del grano, presentó una media poblacional de 0.55 cm, con mínimos de 0.42 cm y máximos de 0.79 cm, ver Tabla 12. Los resultados de la presente

investigación reportaron un avance significativo para el mejoramiento genético de canguil (Figura 30).

Trujillo (2024), reportó valores mínimos de 0.39 cm y máximos de 0.63 cm. Por su parte, Lima (2021) obtuvo medidas comprendidas entre 0.62 cm y 0.84 cm. Estos resultados son similares a los reportados en la presente investigación.

Según Wang et al. (2023), atribuye que el tamaño del grano se debe a la genética y también a los diversos factores ambientales. Por otro lado, Ke Chen et al (2021), menciona que el Grain Width 2 (GW2) es un QTL que contiene genes que actúan juntos para determinar un fenotipo, regula el ancho del grano.

Figura 30

Ancho del grano de canguil



4.1.4.3 Peso de 100 semillas

El análisis estadístico de la variable peso de 100 semillas con 12 % de humedad mostró, un promedio de 12.01 g, valores mínimos de 8 g y máximos de 16 g.

En contraste, Factos (2025) reportó valores para la variable peso de 100 semillas que oscilaron entre 15.67 g y 24.67 g. De manera similar, Velásquez (2023) registró valores comprendidos entre 13 g y 26 g, mientras que Castañeda (2020) registró pesos que oscilaban entre 11 g y 41 g. en comparación con estos antecedentes, los resultados obtenidos en la presente investigación se sitúan por debajo de dichos valores.

Vásquez (2016) señala que la variabilidad en relación a los diferentes pesos de las semillas está vinculada con la gestión agronómica, las condiciones meteorológicas y la diferencia genética dentro del mismo grupo poblacional.

4.1.4.4 Rendimiento (t ha^{-1})

El análisis estadístico mostró que el rendimiento promedio fue de 4.51 t ha^{-1}, con valores mínimos de 0.44 t ha^{-1} y valores máximos de 7.45 t ha^{-1} (Tabla 12).

Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes con los reportados por Factos (2025), quien en su investigación reportó una media de 4.72 t ha^{-1}, con valores extremos situados entre 2.58 t ha^{-1} y 8.06 t ha-^{1}. Por otro lado, Trujillo (2024) reportó un rango de productividad comprendido entre 2.33 t ha^{-1} y 8.47 t ha^{-1}. Así mismo, Lima (2021) identificó variaciones significativas entre sus materiales con un rendimiento mínimo de 2.35 t ha^{-1} en la accesión M25, y un potencial máximo de 5.17 t ha^{-1} en la accesión M7. Estos resultados evidencian que el rendimiento alcanzado es competitivo, pero con margen de mejora, especialmente en los valores máximos.

Según Edmeades et al. (2000), la productividad del maíz depende estrechamente de la cantidad de granos establecidos por unidad de área. Esta variable se ve condicionada por la densidad de siembra, la cual modula la competencia intraespecífica por luz, agua y nutrientes (Tollenaar & Lee, 2002). En consecuencia, los arreglos espaciales más densos (aprox. 40 000 plantas ha^{-1}) suelen superar en rendimiento a los diseños más amplios (30 000 plantas ha^{-1}) al optimizar el uso del espacio. Asimismo, los rendimientos máximos se asocian con la adaptación local y la disponibilidad de recursos en fases fenológicas críticas, factores que, según la FAO (2023), deben reforzarse mediante una fertilización equilibrada y un manejo hídrico preciso durante la antesis y el llenado de grano.

4.1.5 Porcentaje de mazorcas rojas

A continuación, se detallan los parámetros descriptivos correspondientes a la variable de porcentaje de mazorcas rojas obtenida durante la evaluación. Con un coeficiente de variación CV de 19.16 %, que videncia una variabilidad moderada en la expresión del carácter de color en el maíz canguil rojo evaluado

Tabla 13

Porcentaje del color de la mazorca en maíz tipo canguil rojo

Variables	Media	CV	Min	Max
% Mazorcas rojas	77.64	19.16	34.50	100.00

Nota. CV: Coeficiente de Variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo.

Los resultados estadísticos, permitieron determinar un valor promedio de 77.64 % para la variable analizada, con un rango de distribución que se extiende desde un mínimo de 34.50 % hasta un máximo de 100 % (Tabla 13). Al examinar el comportamiento individual de las 102 familias analizadas, se destaca que ocho familias alcanzaron el 100 % de la coloración roja; por el contrario, la familia identificada con el número 57 registró el desempeño más bajo, con apenas un 34.5 % de la presencia de este carácter.

Factos (2025) indica mínimos de 28.57 % y máximos del 100 % de mazorcas de color rojo en las familias evaluadas. Así mismo Trujillo (2024), en su estudió reportó valores mínimos de 33.33% y máximos de 100 % de mazorcas rojas. En este contexto los valores de la presente investigación son superiores a los de reportados por estudios previos.

Este resultado indica que, si bien la mayoría de las plantas mantiene el rasgo característico, aún persiste heterogeneidad fenotípica**.** Esta variabilidad es común en maíces nativos debido a su amplia base genética y a la práctica frecuente de uso de semilla reutilizada, lo que favorece la segregación de caracteres (Velásquez, 2022). La amplia gama de coloraciones en las variedades de maíz es el resultado de un proceso continuo de selección dirigido por los agricultores; esto genera patrones de diversidad que facilitan la adaptación de los cultivos a las condiciones ambientales locales (Bellon et al., 2021).

4.1.6 Porcentaje de reventado

Los resultados obtenidos en la investigación nos muestran que el descriptor cuantitativo presenta un coeficiente de variación de 26.87 %, que corresponde a la variable porcentaje de reventado, lo que representa una variabilidad moderada-alta. Según Patel et al. (2001), para mostrar la presencia de variabilidad en los ensayos agrícolas, el coeficiente de variación (CV) debe estar en rangos entre 6 y 8 %.

Tabla 14

Porcentaje de reventado de maíz tipo canguil

Variables	Media	CV	Min	Max
% Reventado de 100 semillas	59.29	26.87	21.00	90.00

Nota. CV: Coeficiente de Variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo.

El análisis estadístico mostró que existe una media de 59.29 %, y valores comprendidos entre 21 % y 90 % de reventado. El cuanto, a la distribución poblacional, el 48.04 % de las familias registró porcentajes situados entre el 21 % y 59 %, mientras que el 50.98 % se ubicó en el rango

superior del 60 % al 90 %; finalmente, se observó que solo el 0.98 % de las familias alcanzó el nivel máximo de reventado de 90 %. Es así que de las 102 familias en estudio 52 familias presentan porcentaje de reventado mayor al 60 % (Tabla 14) (Figura 31). En este contexto, los valores obtenidos en la presente investigación se ubican dentro de los rangos reportados por estudios previos.

El proceso de selección genética del canguil rojo ha demostrado una evolución favorable a lo largo de las sucesivas etapas de estudio. Durante el primer ciclo, Lima (2021) registró un promedio de reventado del 40 %, cifra que ascendió al 44 % en las investigaciones de Velásquez (2023) y alcanzó el 60 % en el tercer ciclo desarrollado por Trujillo (2024), del mismo modo, Factos (2025), quién evaluó el cuarto ciclo de mejoramiento genético elevó el porcentaje de reventado al 67 %. En el quinto ciclo el porcentaje de reventado fue de 59.29 %, este porcentaje muestra que no bajo el potencial genético, cambió la condición de la prueba (humedad).

El porcentaje de reventado está relacionado directamente con factores genéticos, fisiológicos y de manejo postcosecha**.** Desde el punto de vista genético, el canguil rojo presenta una amplia base genética, producto de la selección tradicional de semillas por parte de los agricultores y de la ausencia de procesos sistemáticos de mejoramiento, lo que genera diferencias significativas en la estructura del endospermo y en el grosor del pericarpio, ambos determinantes clave del reventado (Castañeda, 2020; Velásquez, 2022). Por otro lado, Santacruz (2018), señala que el porcentaje de reventado está relacionado con el contenido de humedad del grano y también al tiempo de exposición al calor de la semilla durante el proceso de cocción.

De acuerdo con el estudio realizado por O-Olán et al. (2018) en la Ciudad de México, el uso de genotipos comerciales de maíz palomero permitió alcanzar un 60 % de reventado. Los autores sostienen que este rendimiento está condicionado por factores como el genotipo, el tamaño de la muestra, el tiempo de exposición y el contenido de humedad; específicamente, determinaron que las condiciones óptimas para maximizar el volumen de expansión requieren una humedad del 12 % y un procesamiento en microondas de 2 minutos con 45 segundos.

Figura 31

Porcentaje de reventado de la familia 71



Nota. Familia 71 porcentaje de reventado 85 %

4.2 Análisis de componentes principales (ACP) en la población de canguil rojo

El análisis de componentes principales (ACP) permitió identificar las variables que explican la mayor parte de la variabilidad observada en los datos. Considerando los valores propios y varianza acumulada, con tres componentes se logran explicar el 48 % variación fenotípica total observada. Específicamente, el primer componente explica el 19 % de la variabilidad, el segundo el 18 % y el tercero el 12 % (Tabla 15). Ángeles et al. (2015) llevaron a cabo un estudio sobre la caracterización y el rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, en el que evaluaron 19 variables. Como resultado, identificaron 12 variables tanto cuantitativas como cualitativas con mayor contribución en el análisis de componentes principales, evidenciando una variación fenotípica del 57,8 % en los primeros cuatro componentes. En contraste, en la presente investigación, la variación fenotípica alcanzó el 48 % considerando los tres primeros componentes.

Tabla 15

Resultados del análisis de componentes principales para variables cuantitativas

Componentes	Valor propio	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	2.47	19	19
2	2.30	18	37
3	1.51	12	48

Los valores de los tres componentes principales con el 48 % correspondientes a las características fenotípicas de las familias evaluadas se presentan en la Tabla 16, donde se observa la asignación de las variables de mayor peso para cada componente. El primer componente estuvo dominado por las variables días a la floración femenina (0.53), días a la

floración masculina (0.43) y peso de 100 semillas (0.32). El segundo componente estuvo principalmente representado por longitud de la mazorca (0.50), número de granos por hilera (0.43) y peso de la mazorca (0.52). Por su parte, en el tercer componente las variables con mayor contribución fueron porcentaje de emergencia (0.27), diámetro de la mazorca (0.51), longitud del grano (0.35), ancho del grano (0.32) y rendimiento (t ha^{-1}) (0.57).

Barman et al. (2025) al caracterizar la variación genética y asociación de rasgos en germoplasma local de (*Zea mays),* mediante análisis de componentes principales, reportaron que los primeros cuatro componentes principales explicaron el 67.74 % de la variación fenotípica total observada entre 23 características cuantitativas evaluadas en 35 germoplasmas y cinco híbridos comparativos, destacando la utilidad de esta técnica en estudios de diversidad genética y fenotípica del maíz, por otra parte, en el presente estudio la variación fenotípica en los primeros tres componentes fue de 48 %.

Tabla 16

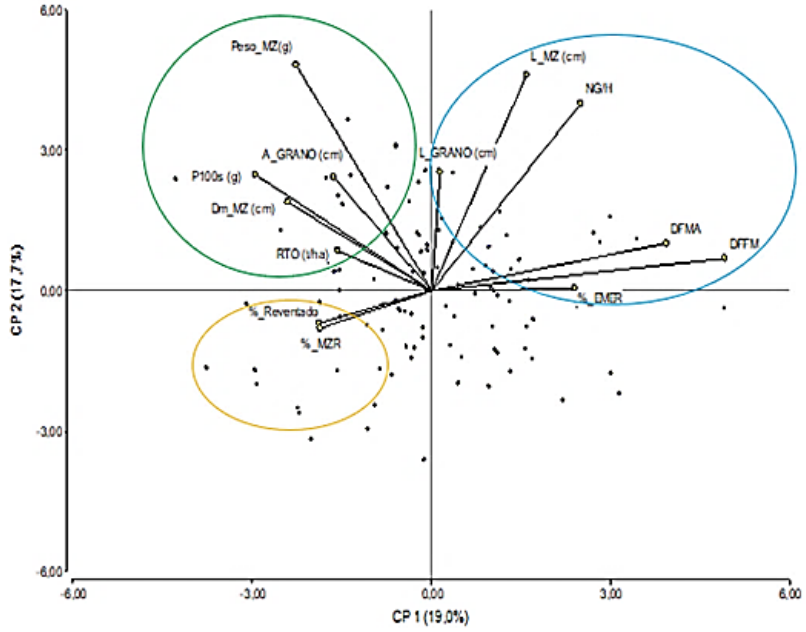
Vectores propios para los tres primeros componentes con 11 variables de 102 familias

Variable	**Componentes**		
	1	**2**	**3**
Porcentaje de emergencia	0.26	0.01	0.27
Días a la floración femenina	**0.53**	0.07	0.05
Días a la floración masculina	**0.43**	0.11	0.24
Diámetro de la mazorca	-0.26	0.20	**0.51**
Longitud de la mazorca	0.17	**0.50**	-0.09
Número de granos por hilera	0.27	**0.43**	-0.09
Longitud del grano	0.02	0.27	-0.35
Ancho del grano	-0.18	0.26	-0.32
Peso de la mazorca	-0.25	**0.52**	0.11
Peso de 100 semillas	-0.32	0.27	-0.01
Porcentaje de mazorcas rojas	-0.20	-0.09	-0.17
Rendimiento (t/ha^{-1})	-0.17	0.09	**0.57**

En la Figura 32, se observan las agrupaciones de variables que presentan relación entre sí. En conjunto, el análisis evidencia que los componentes principales permiten diferenciar asociaciones entre variables de fenología, rendimiento y calidad para análisis de agrupamiento, los cuales se verán en los siguientes apartados.

Figura 32

Análisis de componentes principales para la población de medios hermanos de maíz raza canguil rojo, relación componente 1 y 2



Nota: (%) MZR; Porcentaje de mazorcas rojas, Peso MZ; Peso de la mazorca, P100s; Peso de 100 semillas, Dm_MZ; Diámetro de la mazorca, A_Grano; Ancho del grano, RTO (t ha^{-1}); Rendimiento del grano, DFFM; Días a la floración femenina, DFMA; Días a la floración masculina, NG/H; Número de granos por hilera, L_MZ; Longitud de la mazorca, L_Grano; Longitud del grano, %_EMER; Porcentaje de emergencia

Figura 33

Análisis de componentes principales para la población de medios hermanos de maíz raza canguil rojo, relación componente 1 y 3

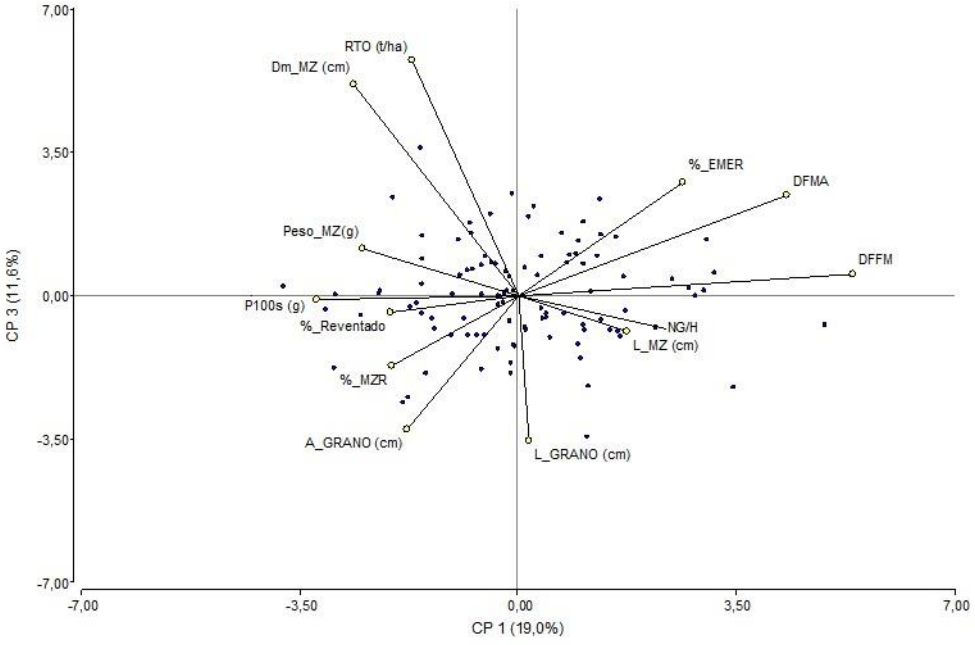
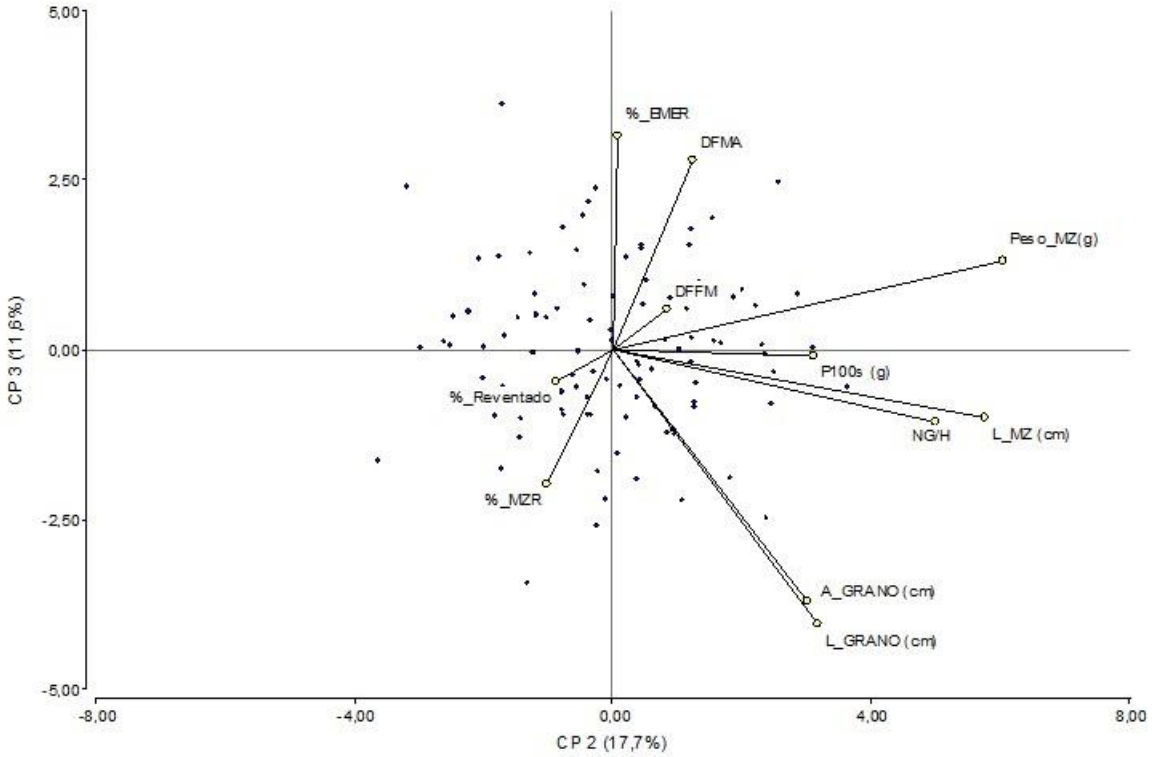


Figura 34

Análisis de componentes principales para la población de medios hermanos de maíz raza canguil rojo, relación componente 2 y 3

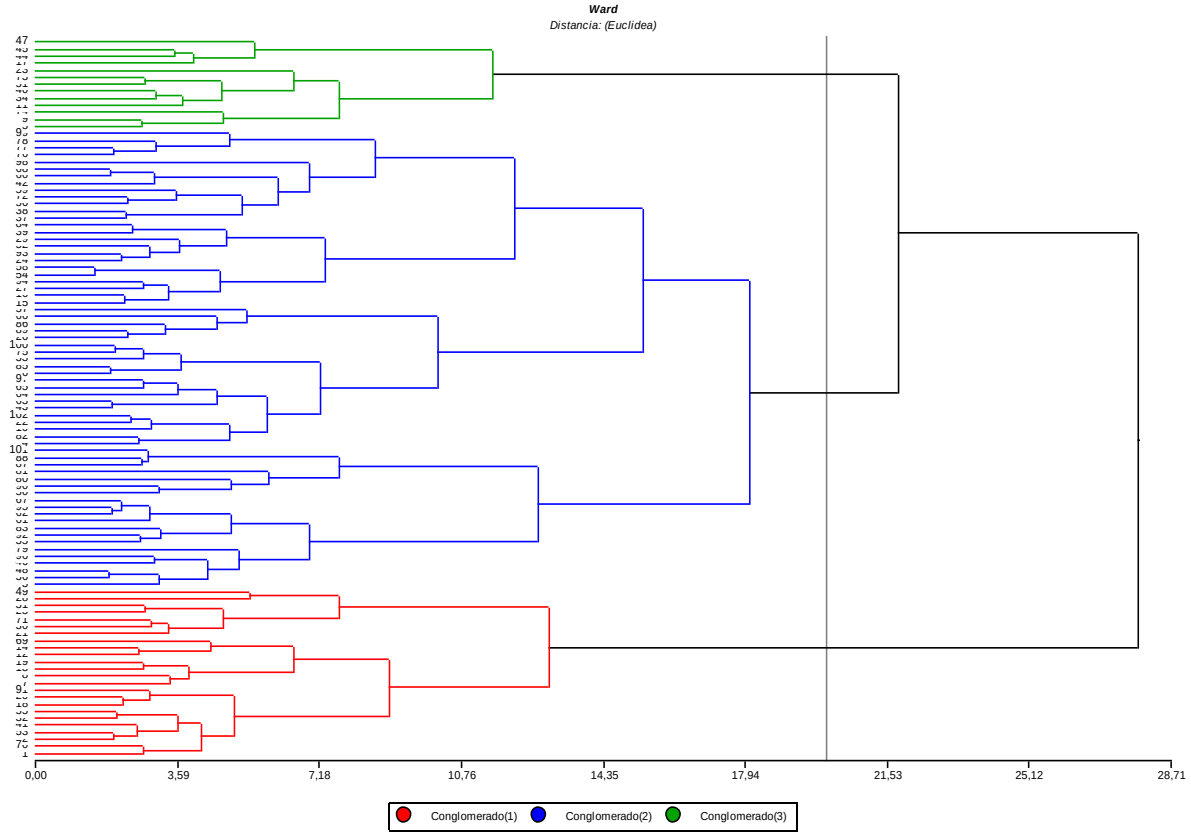


4.3. Análisis de conglomerados en una población de 102 familias de canguil rojo

Basado en el análisis de agrupación jerárquico, mediante el método de Ward y la distancia de Euclídea para 102 familias de maíz tipo canguil rojo se obtuvo una correlación cofenética de 0.35, lo cual indica una correspondencia baja. La distancia máxima de conglomeración fue de 27, donde se identificó la conformación de tres grupos, El grupo 3 y 2 presentan una mayor relación a una distancia máxima de 21, mientras que estos dos grupos se unen al grupo 1 con una distancia máxima de 13 aproximadamente (Figura 35). Según Sokal & Rohlf (1962), un valor de correlación cofenética superior a 0.70 se considera una representación confiable de los datos originales, mientras que valores inferiores a <0.50 indican que el agrupamiento no refleja fielmente las distancias genéticas o fenotípicas.

Figura 35

Dendograma del análisis de conglomerados para las 11 variables en las 102 familias de maíz raza canguil rojo

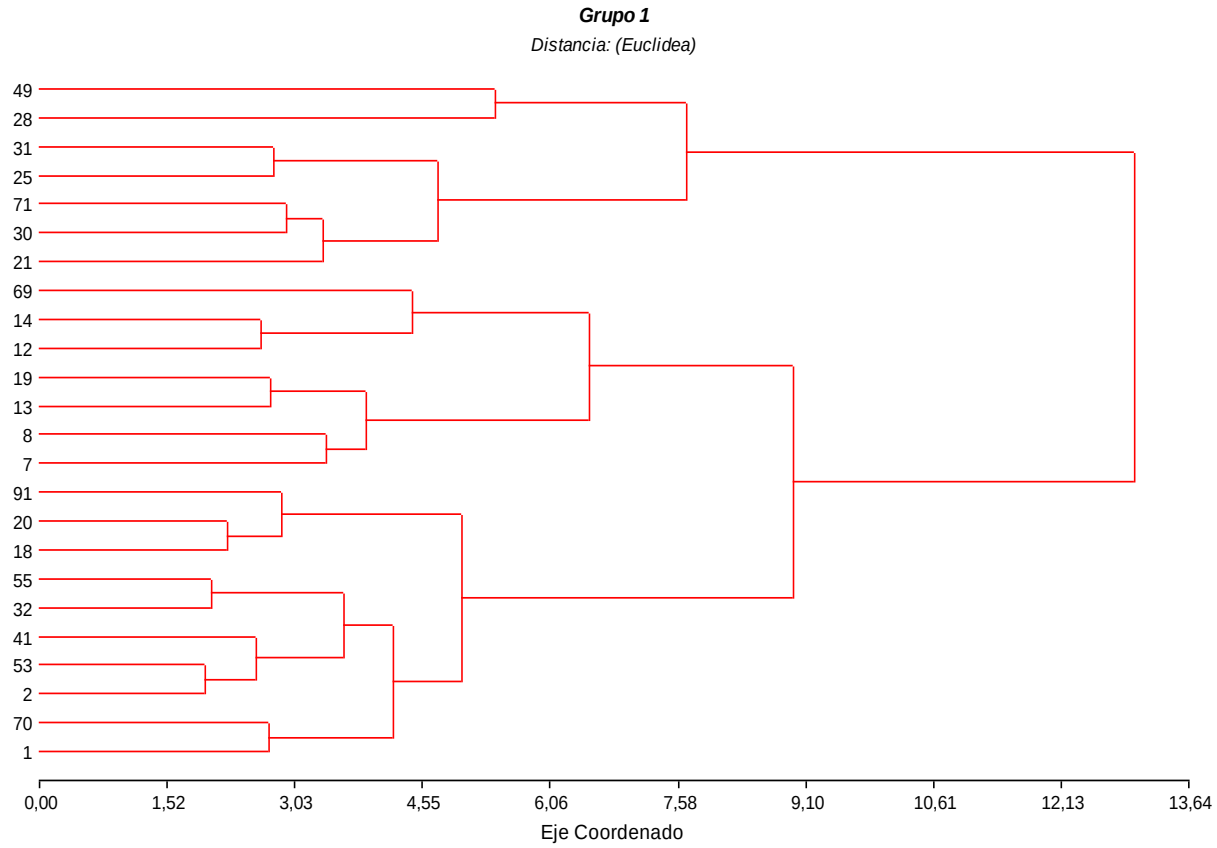


a) Grupo I

El Grupo 1 está constituido por un total de 24 familias (49, 28, 31, 25, 71, 30, 21, 69, 14, 12, 19, 13, 8, 7, 91, 20, 18, 55, 32, 41, 53, 2, 70 y 1) (Figura 36). En este grupo, las variables de mayor importancia correspondieron a los días a la floración femenina, los cuales presentaron un rango comprendido entre 79 y 88 días; en concordancia con ello, los días a la floración masculina mostraron valores que fluctuaron entre 65 y 86 días**.** Asimismo, se registró un porcentaje de mazorcas rojas que varió desde 50 % hasta 93.1 %**,** junto con un peso de 100 semillas que osciló entre 8 g y 15 g**,** evidenciando una amplia variabilidad fenológica y productiva dentro del grupo.

Figura 36

Dendrograma de 24 familias de canguil rojo que forman el Grupo 1

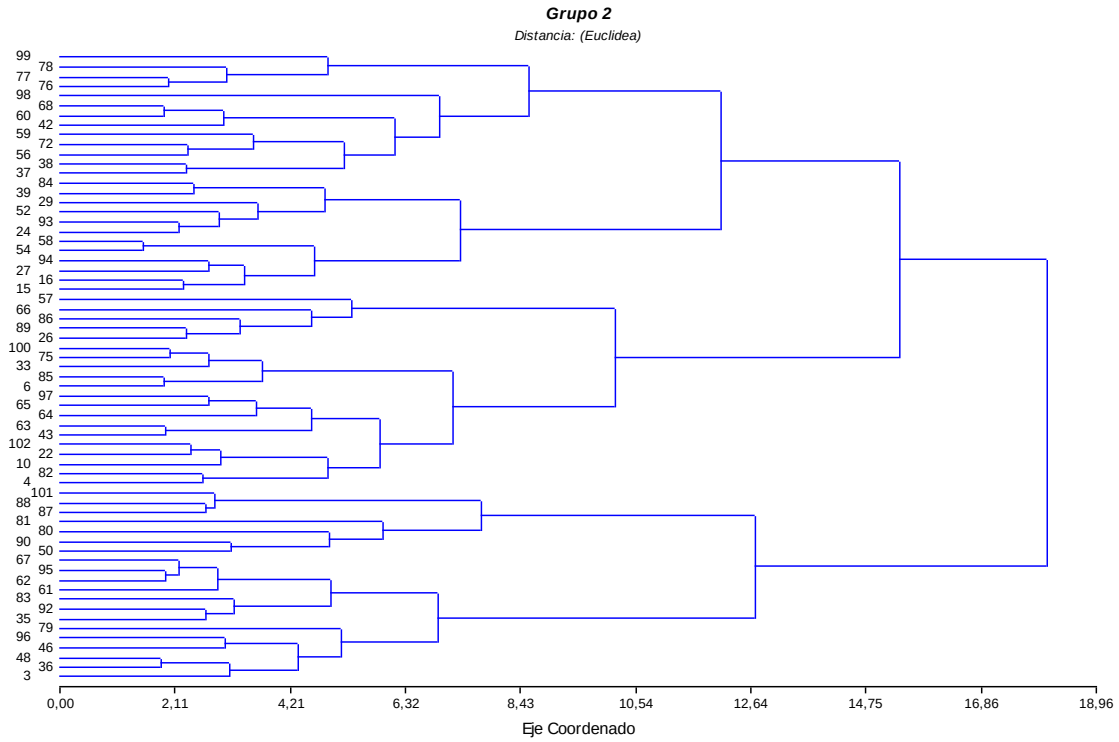


b) Grupo II

El Grupo 2 está constituido por un total de 65 familias (99, 78, 77, 76, 98, 68, 60, 42, 59, 72, 56, 38, 37, 84, 39, 29, 52, 93, 24, 58, 54, 94, 27, 16, 15, 57, 66, 86, 89, 26, 100, 75, 33, 85, 6, 97, 65, 64, 63, 43, 102, 22, 10, 82, 4, 101, 88, 87, 81, 80, 90, 50, 67, 95, 62, 61, 83, 92, 35, 79, 96, 46, 48, 36 y 3) (Figura 37). En este grupo, las variables de mayor expresión correspondieron al peso de la mazorca**,** el cual presentó un rango de 34.2 g y 71.6 g. De igual forma, se registraron longitudes de mazorca comprendidas entre 9.37 cm y 13.54 cm, lo cual estuvo asociado con un número de granos por hilera que varió desde 22 hasta 32 granos aproximadamente, reflejando una adecuada expresión de los componentes del rendimiento.

Figura 37

Dendrograma de 65 familias de canguil rojo que forman el Grupo 2

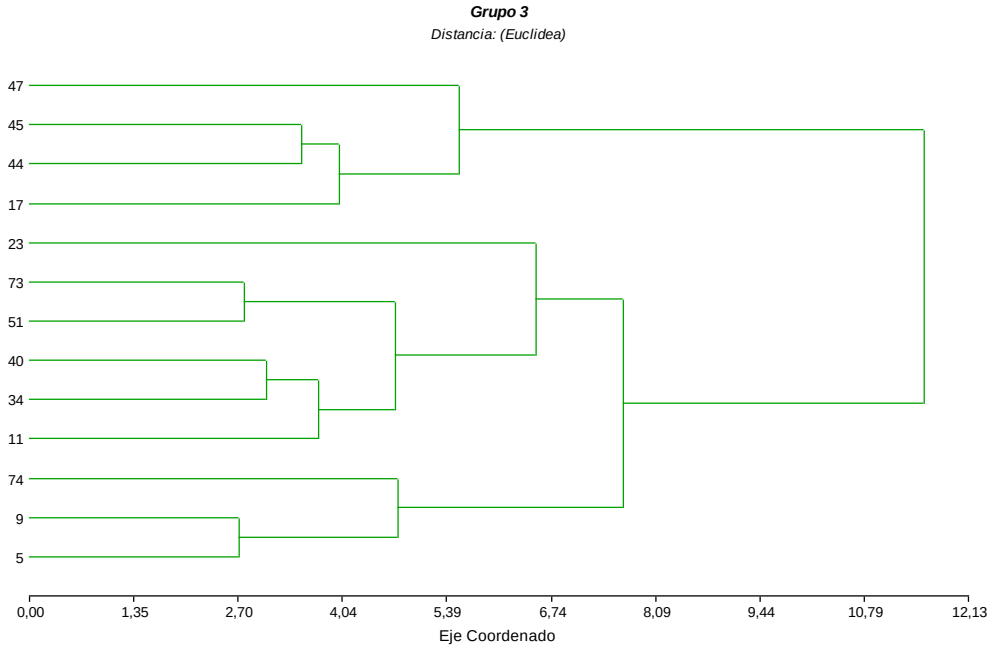


c) Grupo III

El grupo 3 está constituido por las familias (47, 15, 44, 17, 23, 73, 51, 40, 34, 11, 74, 9 y 5) (Figura 38). En este grupo, las variables de mayor relevancia fueron el porcentaje de emergencia**,** con valores que oscilaron entre 90.48 % y 100 %**.** Asimismo, se registraron diámetros de mazorca comprendidos entre 2.98 cm y 3.68 cm. De manera complementaria, se observaron valores destacados en la longitud del grano, que variaron de 0.92 cm y 1.08 cm, así como en el ancho del grano, con rangos entre 0.52 cm y 0.65 cm. Finalmente, estas características se reflejaron en el rendimiento, el cual presentó valores que fluctuaron entre 3.91 y 6.39 t ha^{-1}.

Figura 38

Dendrograma de 13 familias que forman el Grupo 3



4.4 Incidencia de plagas y enfermedades en la población de maíz raza canguil rojo

Al realizar la prueba LSD Fisher al 5% se determinó el porcentaje de incidencia de plagas y enfermedades presentes en el cultivo en las distintas etapas que se presentaron en este período. Entre las plagas podemos mencionar al gusano cogollero y entre enfermedades mancha de asfalto.

4.4.1 Incidencia de plagas

Daños causados por gusano cogollero *(Spodoptera frugiperda Smith)*

Al realizar los análisis estadísticos de las 102 familias estudiadas, se observó una amplia variabilidad en la respuesta de los materiales, En la Figura 40, se aprecia que algunos porcentajes de incidencia son relativamente bajos (2 %). Las familias que no presentaron daños por esta plaga fueron: 76, 61, 60, 56, 37, 93 y 97. Por otro lado, se registraron incidencias máximas del 24 % en las familias 12, 13, 42, 41, 27 y 47, lo que indica una marcada susceptibilidad al daño causado por el gusano cogollero. Este tipo de daño afecta directamente el desarrollo vegetativo de las plantas y, de manera potencial al rendimiento final. Corroborando estos hallazgos, Factos (2025) quien evaluó la incidencia de plagas obtuvo un mínimo de 5 % y un máximo de 36.84 %, estos valores son superiores a los de la presente investigación, del

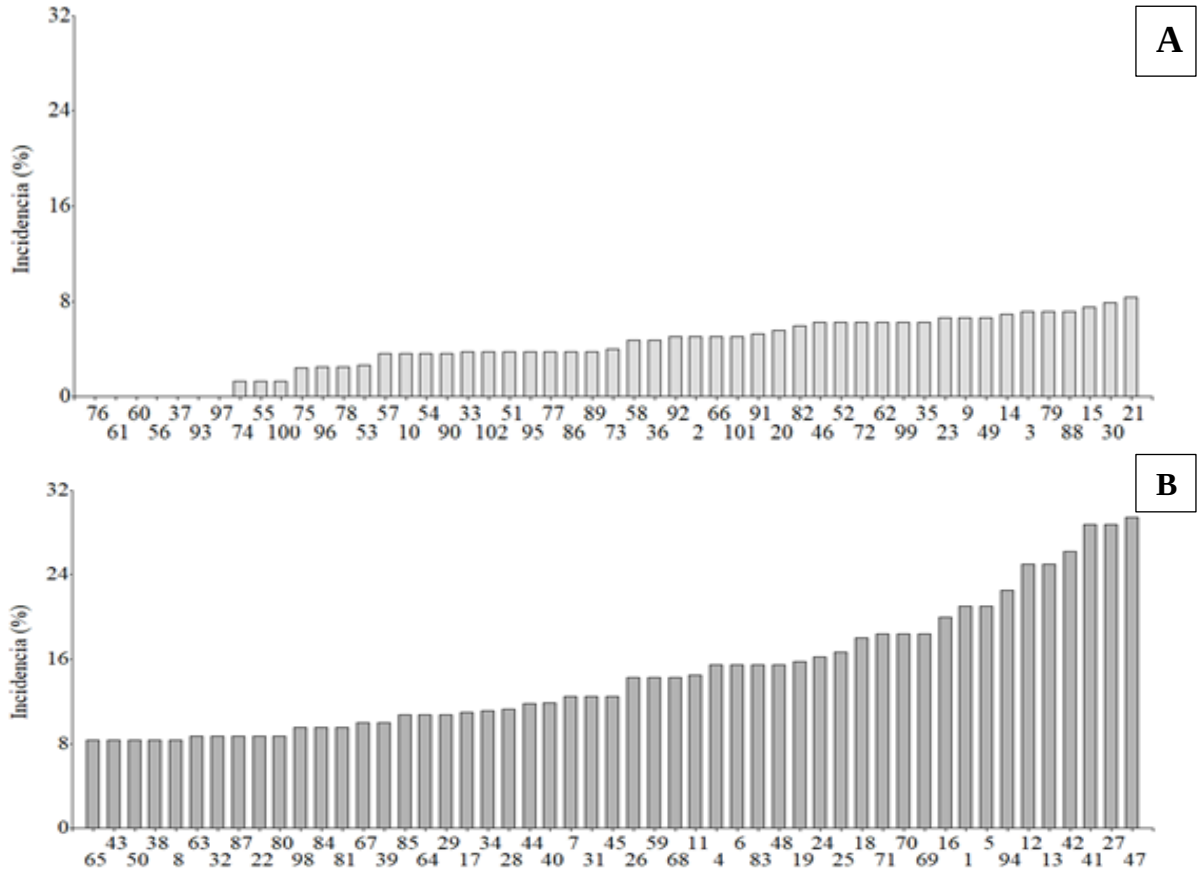
mismo modo, Trujillo (2024), menciona que el nivel de daño que se reportó en su estudio fue de un mínimo de 3.12 % y máximo de 48.75 % de incidencia.

La baja incidencia promedio lograda en el quinto ciclo se atribuye a un manejo proactivo basado en monitoreos constantes desde la emergencia, lo que permitió intervenciones químicas precisas. Mediante el uso de Cipermetrina en las etapas iniciales de infestación, se logró un manejo preventivo que bloqueó la colonización del tejido meristemático (cogollo). Esta acción fue determinante para mitigar el impacto poblacional de la plaga antes de que cause daños estructurales en el cultivo. Además, la rotación de ingredientes activos a los 30 días fue clave para mantener una baja incidencia en comparación con Factos y Trujillo.

Sin embargo, la variabilidad observada entre familias (2% vs 24%) bajo un manejo idéntico sugiere que la base genética de la población es el factor determinante en la expresión de la resistencia al ataque de *gusano cogollero (Spodoptera frugiperda).*

Figura 39

Incidencia de gusano cogollero en las 102 familias de maíz raza canguil rojo, campaña agrícola 2024-2025



Nota. Grupo de familias que presentan bajo porcentaje de incidencia de gusano cogollero (A); grupo de familias que presentan alta incidencia de gusano cogollero(B)

Figura 40

Afectación en el cultivo por gusano cogollero (Spodoptera frugiperda Smith)



4.4.2 Incidencia de enfermedades

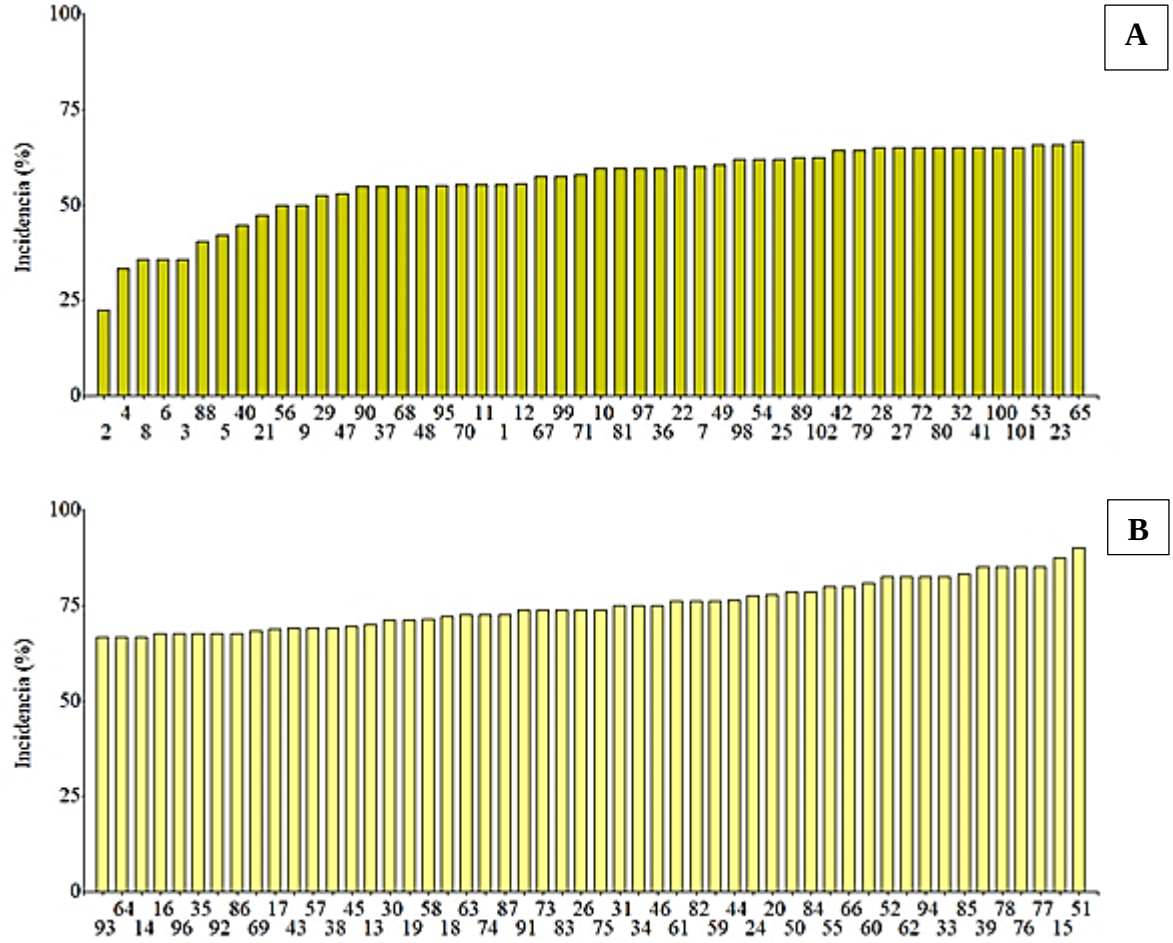
Daños por Mancha de asfalto *(Phyllachora maydis)*

Los resultados obtenidos para la incidencia de mancha de asfalto (Figura 42) en el estudio realizado de las 102 familias de maíz raza canguil durante la campaña 2024–2025 evidencian una marcada variabilidad en la respuesta de los materiales evaluados. En la Figura 41, las incidencias muestran valores mínimos por debajo de 25 % y máximos de 65 % y 90 % respectivamente. Noventa y tres familias presentaron un porcentaje de incidencia mayor al 50 % en las plantas. Por otro lado, las familias que presentaron mayor porcentaje de daños por mancha de asfalto fueron 15 y 51 con el 80 a 90 %. Esta amplitud en los valores indica que, dentro del germoplasma evaluado, existen materiales genéticos que no poseen mecanismos de tolerancia o resistencia efectiva frente a este patógeno.

Según estudios realizados por Trujillo (2024), quien evaluó la incidencia de mancha de asfalto obtuvo valores mínimos y máximos de 34.44% y 80.13% respectivamente. Por otro lado, Castañeda (2020), menciona que, en la etapa de madurez fisiológica, se evidencia mayor incidencia y daños por mancha de asfalto. En este estudio se evaluó la incidencia de mancha de asfalto en el cultivo de maíz, obteniendo resultados de 22%, 30%, 48%, 58% y 67% de mancha de asfalto, siendo estos porcentajes similares a los obtenidos en el presente estudio.

Figura 41

Incidencia de mancha de asfalto en familias de maíz raza canguil, campaña 2024-2025



Nota. Grupo con menor incidencia de mancha de asfalto (A); grupo con alta incidencia de mancha de asfalto (B)

Figura 42

Mancha de asfalto en maíz raza canguil



4.5 Análisis de varianza de valores discriminantes por grupos conformados

Al realizar el análisis de la prueba LS de Fisher al 5% se determinó que, de las 13 variables cuantitativas evaluadas en la presente investigación, nueve variables son estadísticamente significativas para la diferenciación de poblaciones evaluadas. Las variables que no presentan diferencias significativas (P >0.05) fueron: porcentaje de reventado superiores al 50 %, ancho del grano mayores a 0.50 cm, peso de 100 semillas superiores a 12 gramos y rendimiento de 4 t ha^{-1}, ver Tabla 17.

Tabla 17

Variables promedias para variables cuantitativas de maíz raza canguil rojo

Variable	Grupo 1 24 familias	Grupo 2 65 familias	Grupo 3 13 familias	P valor
Porcentaje de emergencia	91.87± 0.71 B	97.80 ± 0.43 A	87.91 ± 0.96 C	< 0.0001
Días a la floración femenina	83.29 ± 0.87 B	87.18 ± 0.53 A	84.46 ± 1.18 B	0.0005
Días a la floración masculina	77.29 ± 0.86 B	81,28 ± 0.52 A	79.31 ± 1.17 AB	0.0006
Longitud del grano	0.93 ± 0.01 B	1 ± 0.01 A	0.98 ± 0.02 A	0.0007
Diámetro de la mazorca	3.18 ± 0.04 AB	3.13 ± 0.02	3.29 ± 0.06 A	0.0359
Longitud de la mazorca	10.69 ± 0.14 C	11.53 ± 0.09 B	12.58 ± 0.19 A	< 0.0001
Número de granos por hilera	24.17 ± 0.40 C	26.45 ± 0.24 B	28.25 ± 0.55 A	< 0.0001
Peso de la mazorca	44.18 ± 1.30 C	48.06 ± 0.79 B	57.45 ± 1.77 A	< 0.0001
Porcentaje de mazorcas rojas	88.14 ± 2.79 A	73.44 ± 1.70 B	79.24 ± 3.79 AB	0.0001
Porcentaje de reventado	64.25 ±3.23 A	57.17 ± 1.96 A	60.77 ± 4.38 A	0.1668
Ancho del grano	0.54 ± 0.01 A	0.55 ± 0.01 A	0.57 ± 0.01 A	0.2241
Peso de 100 semillas	11.67 ± 0.36 A	12.08 ± 0.22 A	12.31 ± 0.49 A	0.5020
Rendimiento (t/ha^{-1})	4.48 ± 0.23 A	4.49 ± 0.14 A	4.68 ± 0.31 A	0.8561

Nota. Medidas con letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

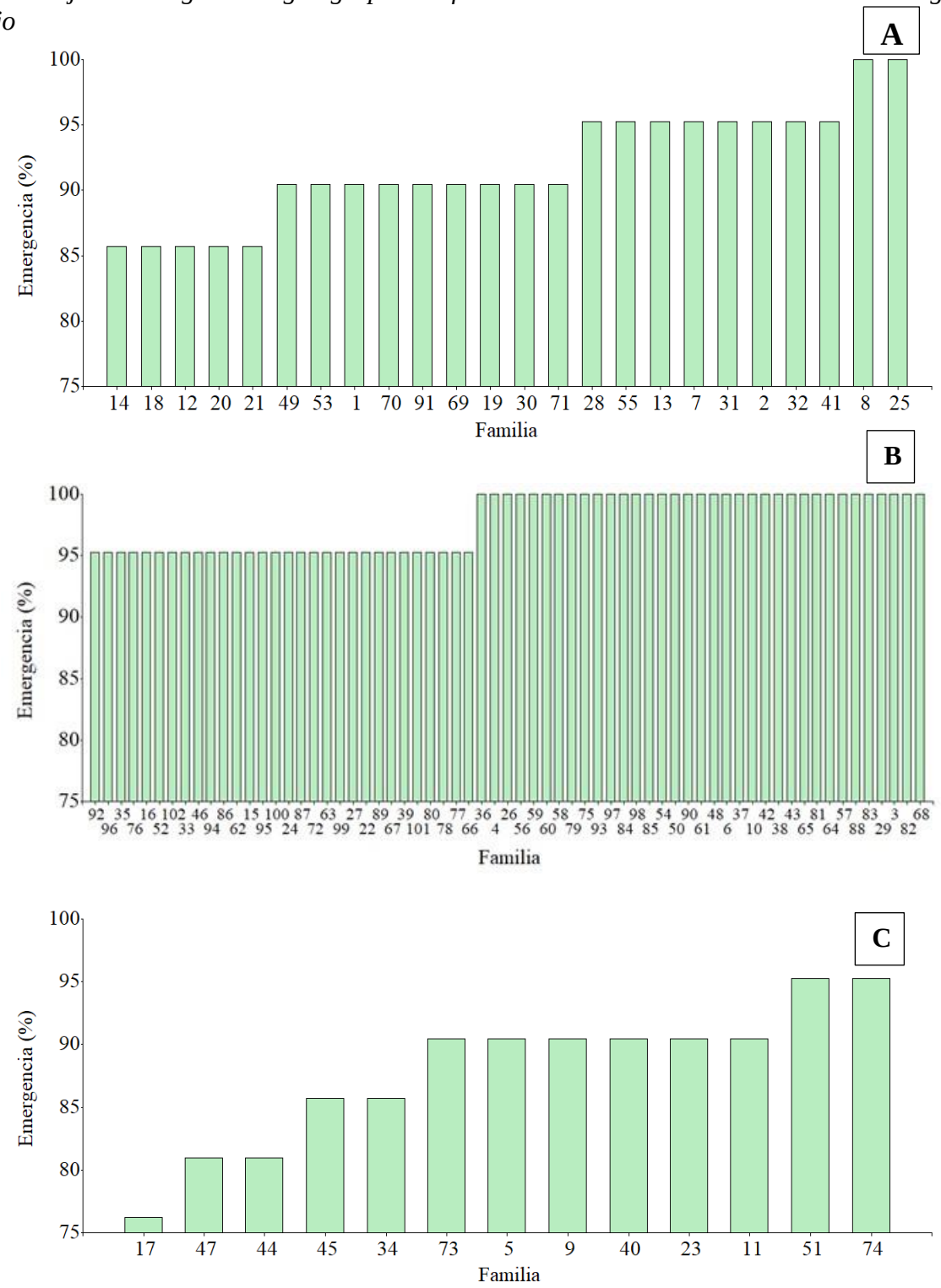
4.6 Análisis de variables de interés agronómico

4.6.1 Porcentaje de emergencia

El porcentaje de emergencia mostró diferencias altamente significativas (p < 0.0001). El Grupo 2 conformado por 65 familias, registró los valores más altos, con porcentajes cercanos al 98 % (Figura 43B). En el Grupo 1 integrado por 24 familias, el 21 % de estas alcanzó un 85 % de emergencia, el 37.5 % registró un 90 % y únicamente las familias 8 y 25 lograron el 100 % de emergencia (Figura 43A). Por su parte, en el Grupo 3, la familia 17 presentó el menor porcentaje de emergencia (Figura 43C).

Figura 43

Porcentaje de emergencia según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo



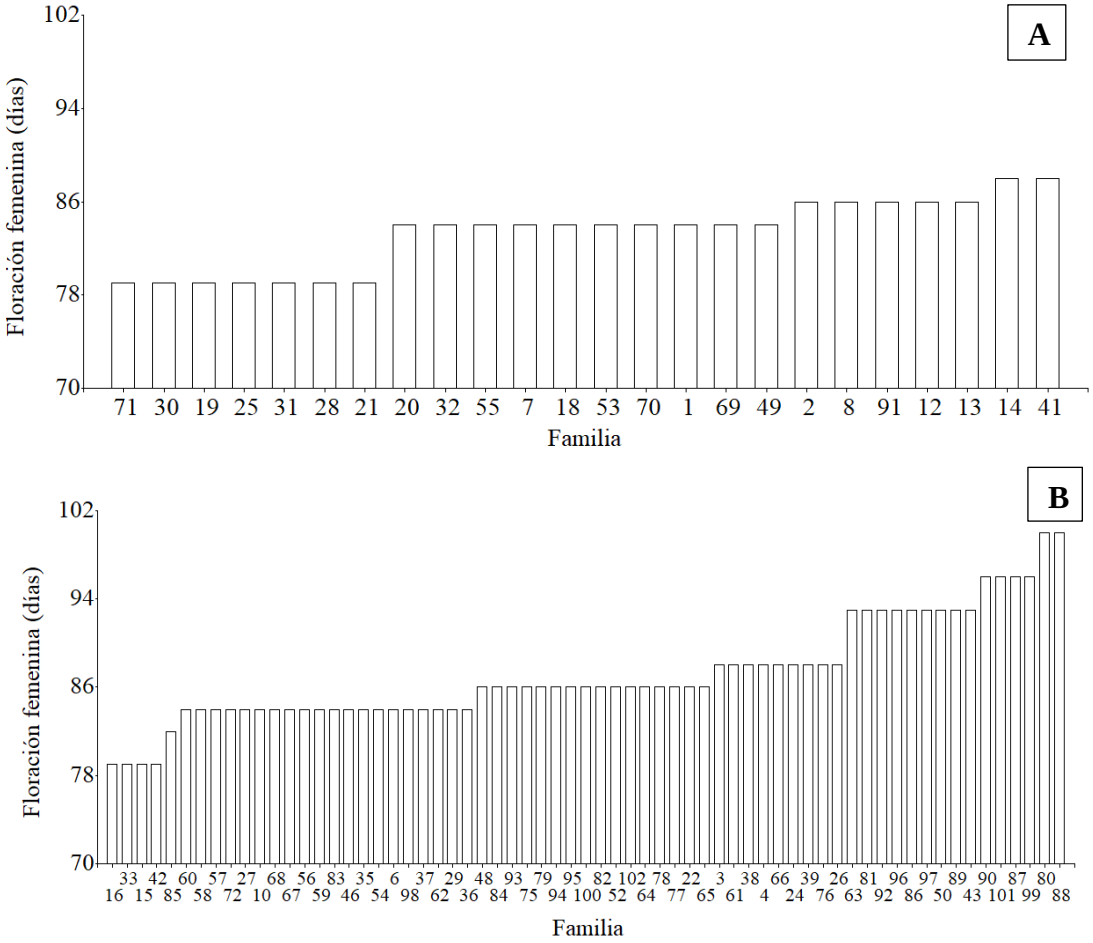
Nota. Porcentaje de emergencia Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

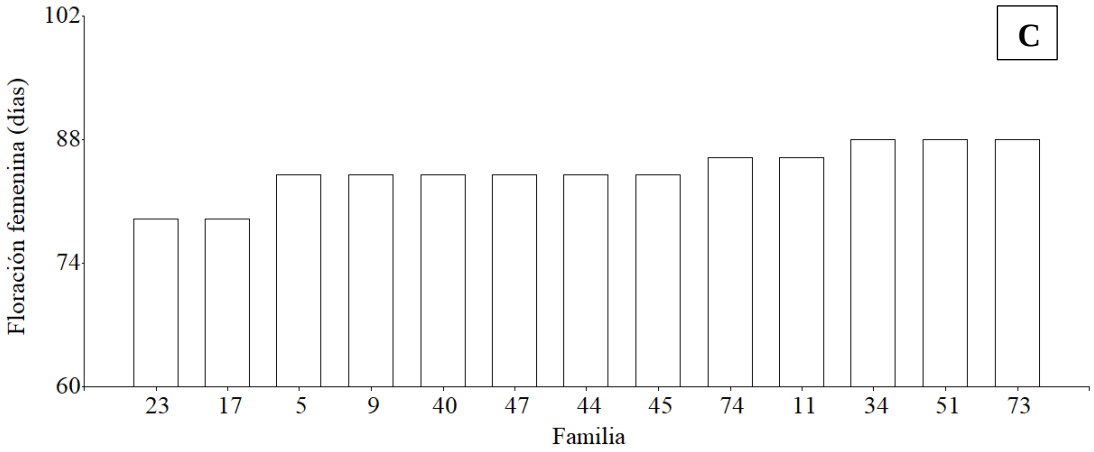
4.6.2 Días a la floración femenina

La variable días a la floración femenina presentó diferencias significativas (p = 0.0005). El Grupo 1 conformado por 24 familias, registró un promedio aproximado de 84 días; dentro de este, el 29.16 % presentó 78 días, el 41.66 % presentó 85 días y únicamente las familias 14 y 41 registraron 90 días, mostrando así que este grupo presentó el menor número de días a la floración femenina (Figura 44A). En el Grupo 2 se observó un promedio cercano a 88 días aproximadamente, siendo las familias 80 y 82 las de mayor duración (Figura 44B). Finalmente, el Grupo 3, integrado por 13 familias, presentó menores días a la floración femenina, destacándose las familias 23 y 17 (Figura 44C). En general, se evidencian diferencias en el ciclo fenológico entre los grupos evaluados.

Figura 44

Días a la floración femenina según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo





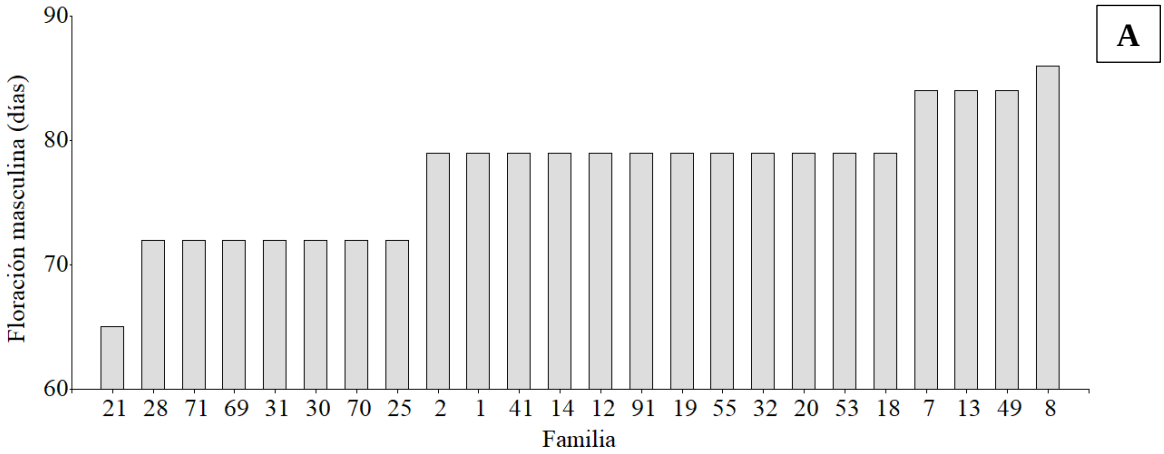
Nota. Días a la floración femenina Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

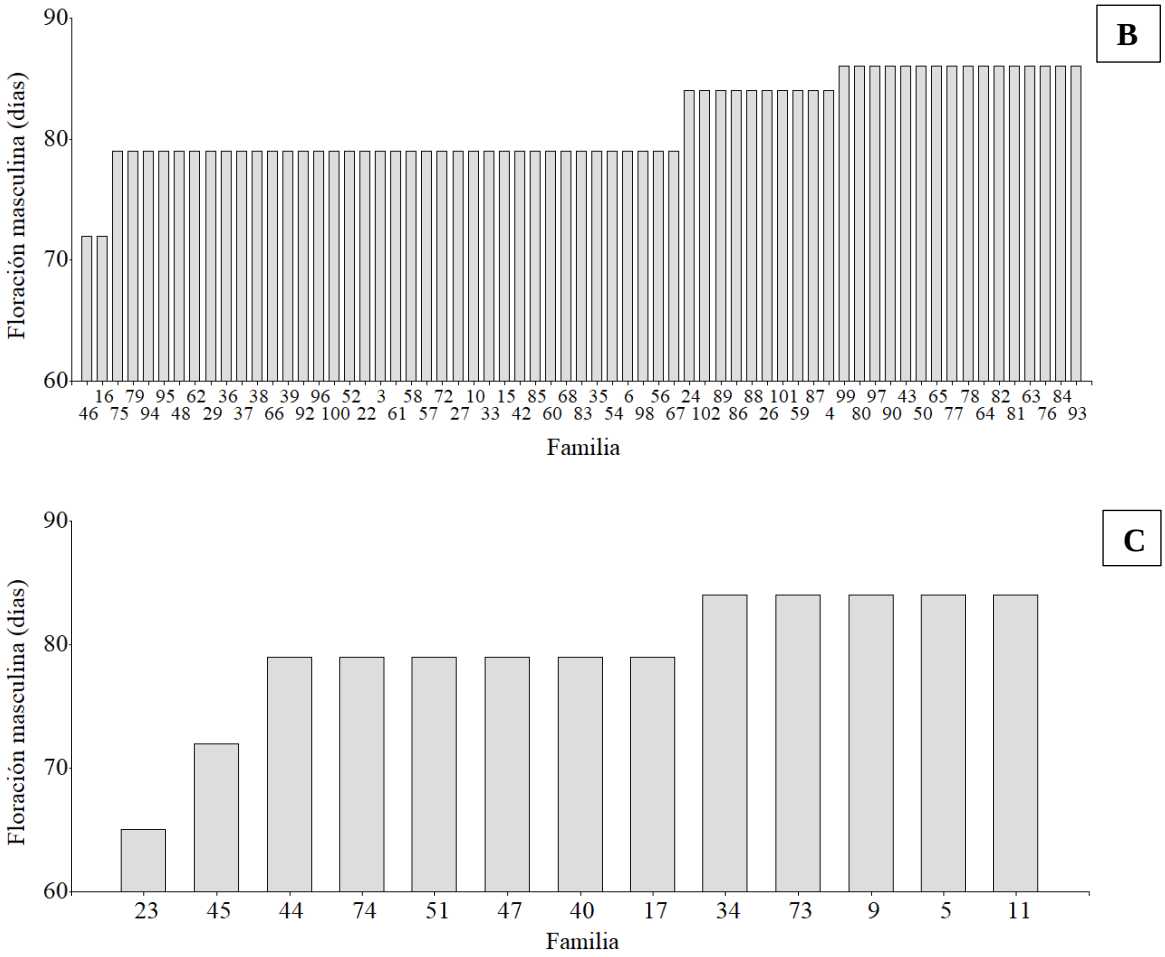
4.6.3 Días a la floración masculina

En relación con la floración masculina, se evidenció diferencias notables (p = 0.0006). El Grupo 1, compuesto por 24 familias con un promedio de 78 días, dentro de este, el 4.16 % correspondiente a 21 familias registró 65 días, el 29.16 % alcanzó 72 días y la familia 8 presentó 86 días (Figura 45A). El Grupo 2 integrado por 65 familias, mostró un promedio de 82 días, destacándose las familias 46 y 16 con 72 días (Figura 45B). Así mismo, el Grupo 3, compuesto por 13 familias, registró una media de 80 días, la familia 23 presentó el menor número de días a la floración masculina, mientras que las familias 34, 73,9, 5 y 11 alcanzaron 84 días (Figura 45C).

Figura 45

Días a la floración masculina según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo





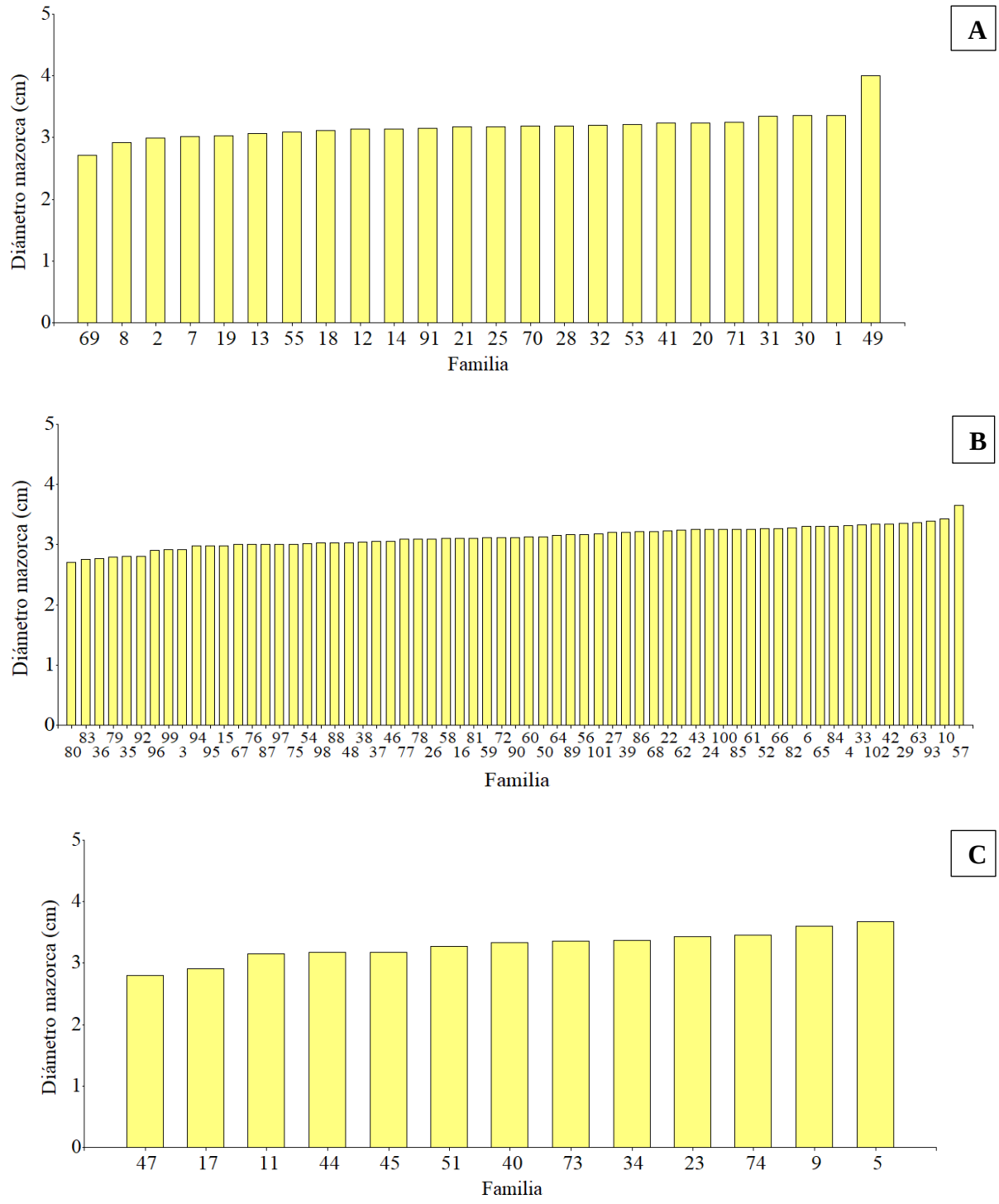
Nota. Días a la floración masculina Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

4.6.4 Diámetro de la mazorca

El diámetro de la mazorca evidenció diferencias estadísticas significativas entre los grupos (p = 0.0359), aunque de baja magnitud. El Grupo 3 conformado por 13 familias registró una media de 3.29; dentro de este, cm donde la familia 47 y 17 presentaron menor diámetro de la mazorca, con diámetro de 2.80 a 3.10 cm (Figura 46C). Por otra parte, el Grupo 1, conformado por 24 familias con una media de 3.18 cm; en este caso la familia 69 registro un diámetro de 2.81 cm mientras que la familia 49 presentó 3.02 cm (Figura 46A), sin diferenciarse marcadamente del Grupo 3. En contraste, el Grupo 2 compuesto por 65 familias, mostró el menor promedio con 3.13 cm; específicamente, las familias 80 y 57 presentaron diámetros de 2.76 cm y 2.79 cm, respectivamente, caracterizándose por mazorcas de menor groso Figura (Figura 46B). Estos resultados indican que, aunque las diferencias fueron mínimas, existe variabilidad en el diámetro de la mazorca entre los grupos evaluados, lo que sugiere potencial para la selección de familias con mayor desarrollo de la mazorca.

Figura 46

Diámetro de la mazorca según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil



Nota. Diámetro de la mazorca Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

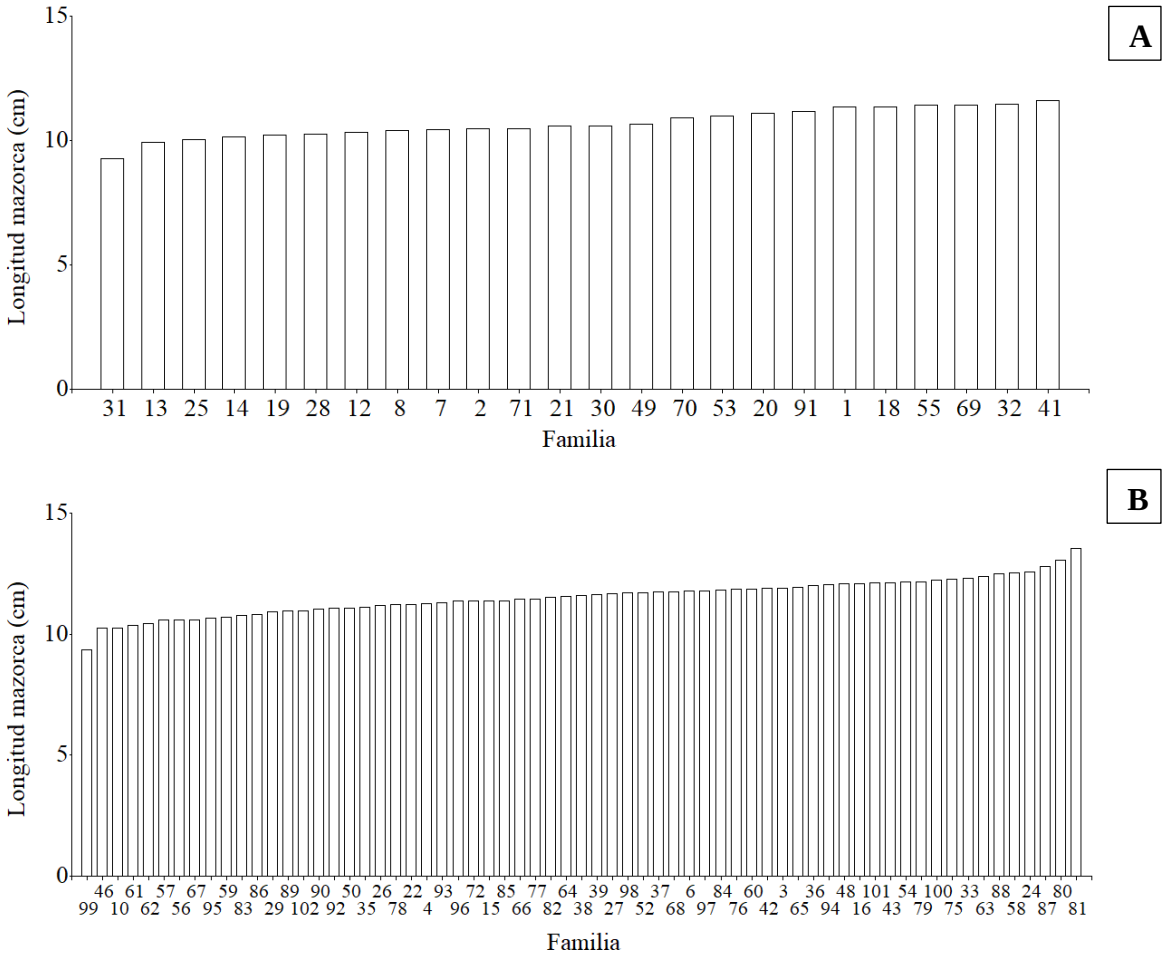
4.6.5 Longitud de la mazorca

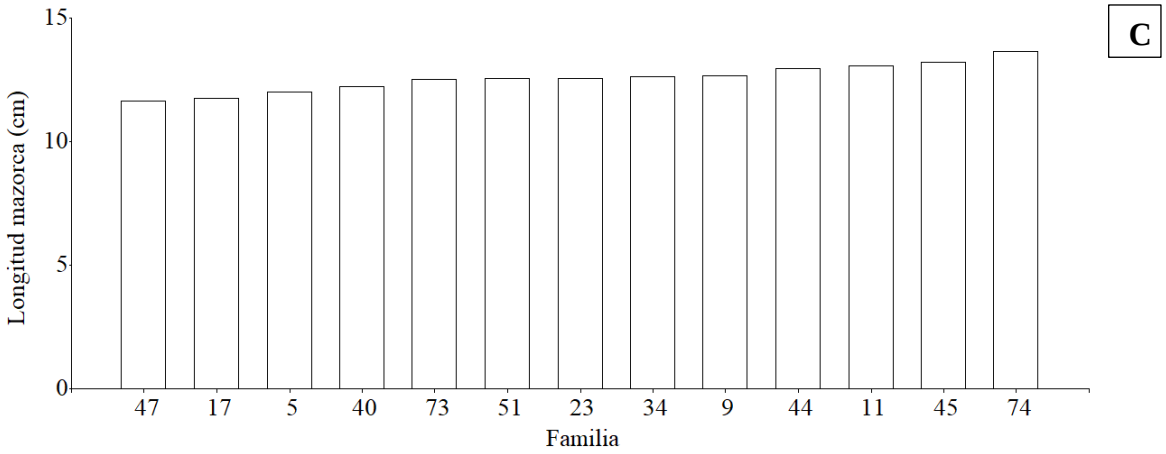
A través del análisis de conglomerados evidenció que la variable longitud de la mazorca presentó diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$). El Grupo 3 (Figura 47C), se

agruparon las mazorcas más grandes de la población con una media de grupo de 12.58 cm; dentro de este, la familia 47 que representa el 7.69 % registró una longitud de 12.12 cm, mientras que el 84.61 % de las familias presentó valores cercanos a 11 cm y la familia 74 alcanzó 11.89 cm. En contraste En contraste, el Grupo 2 (Figura 47B) mostró mazorcas de tamaño intermedio, con una media de 11.53 cm; destacándose la familia 99 con 12.25 cm y la familia 81 con 10.97 cm. Por último, el Grupo 1 (Figura 47A) estuvo conformado por las mazorcas de menor tamaño dentro de la población, con una media de 10.69 cm. Estos resultados evidencian una clara diferenciación entre grupos en función de la longitud de la mazorca.

Figura 47

Longitud de la mazorca según grupos conformados en la evaluación de maíz raza canguil rojo



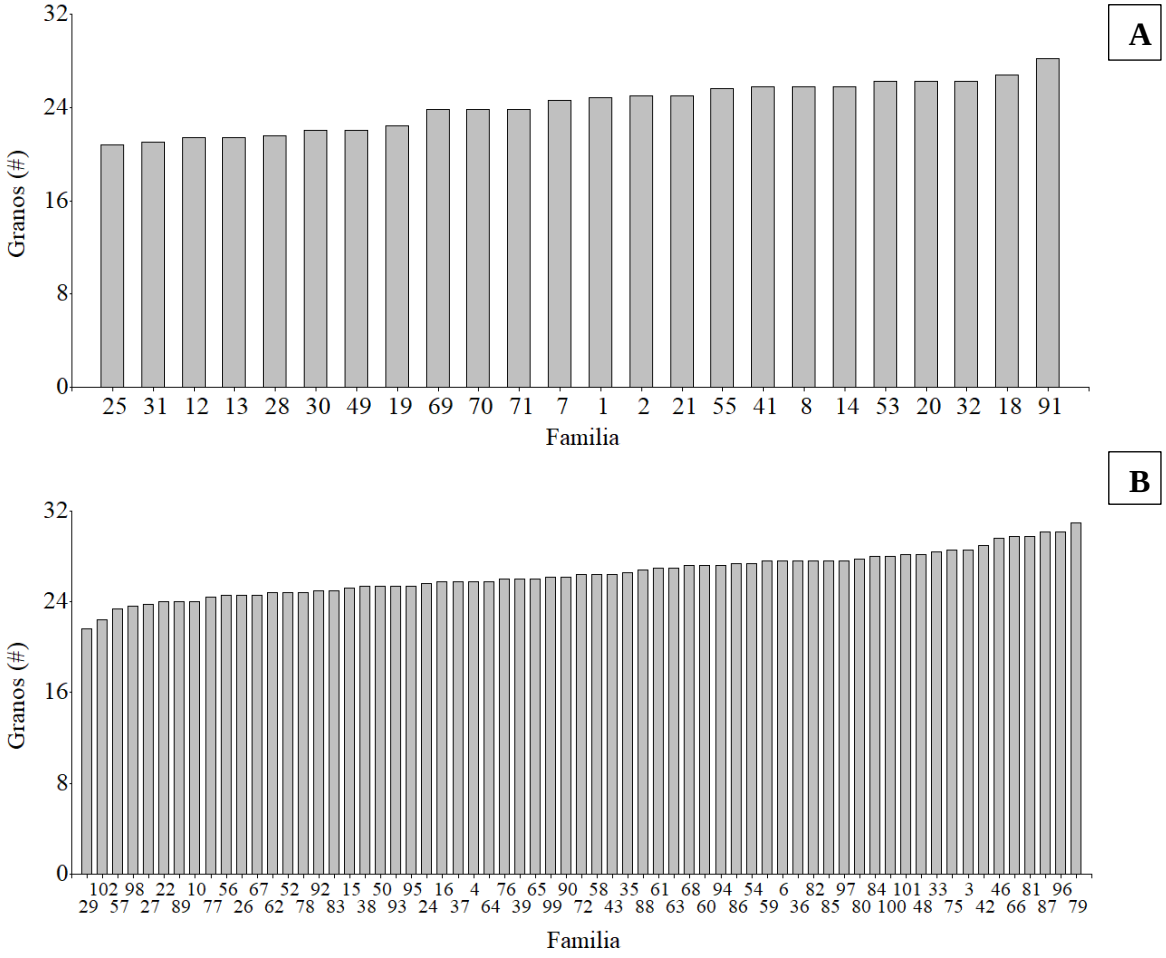


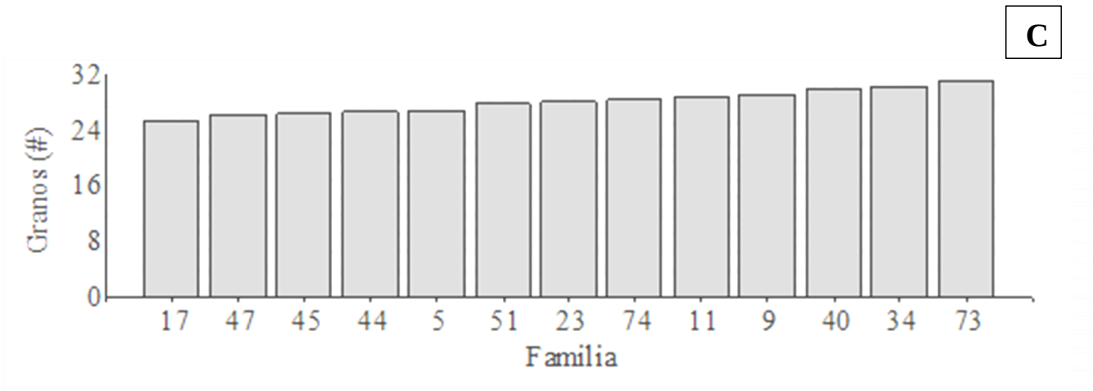
Nota. Longitud de la mazorca que pertenece al Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

4.6.6 Número de granos por hilera

Figura 48

Número de granos por hilera según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo





Nota. Longitud de la mazorca que pertenece al grupo 1 (A); grupo 2 (B); grupo 3 (C)

A través del análisis de conglomerados permitió identificar que la variable número de granos por hilera, presentó diferencias significativas ($p < 0.0001$), evidenciando una mejor conformación de la mazorca en el Grupo 3. Este grupo (Figura 48C), registró el mayor número de granos por hileras, con una media de 29 granos; dentro de este, la familia 17 (7.69 %) presentó el valor más bajo con 26 granos, mientras que el 69.23 % de las familias alcanzó 28 granos por hilera y únicamente la familia 73 destacó con el valor máximo de 32 granos. Por su parte, el Grupo 2 (Figura 48B) presentó una media de 27 granos por hilera; en este caso, la familia 29 registró menor valor con 22 granos, en tanto que la familia 79 alcanzó el mayor número con 31 granos. Finalmente, el grupo 1 (Figura 48A) estuvo conformado por las mazorcas con menor número de granos por hilera, con una media de 25 granos; dentro de este grupo, el 33.33 % de las familias registró aproximadamente 21 granos, mientras que la familia 91 presentó el valor más alto en 29 granos por hilera.

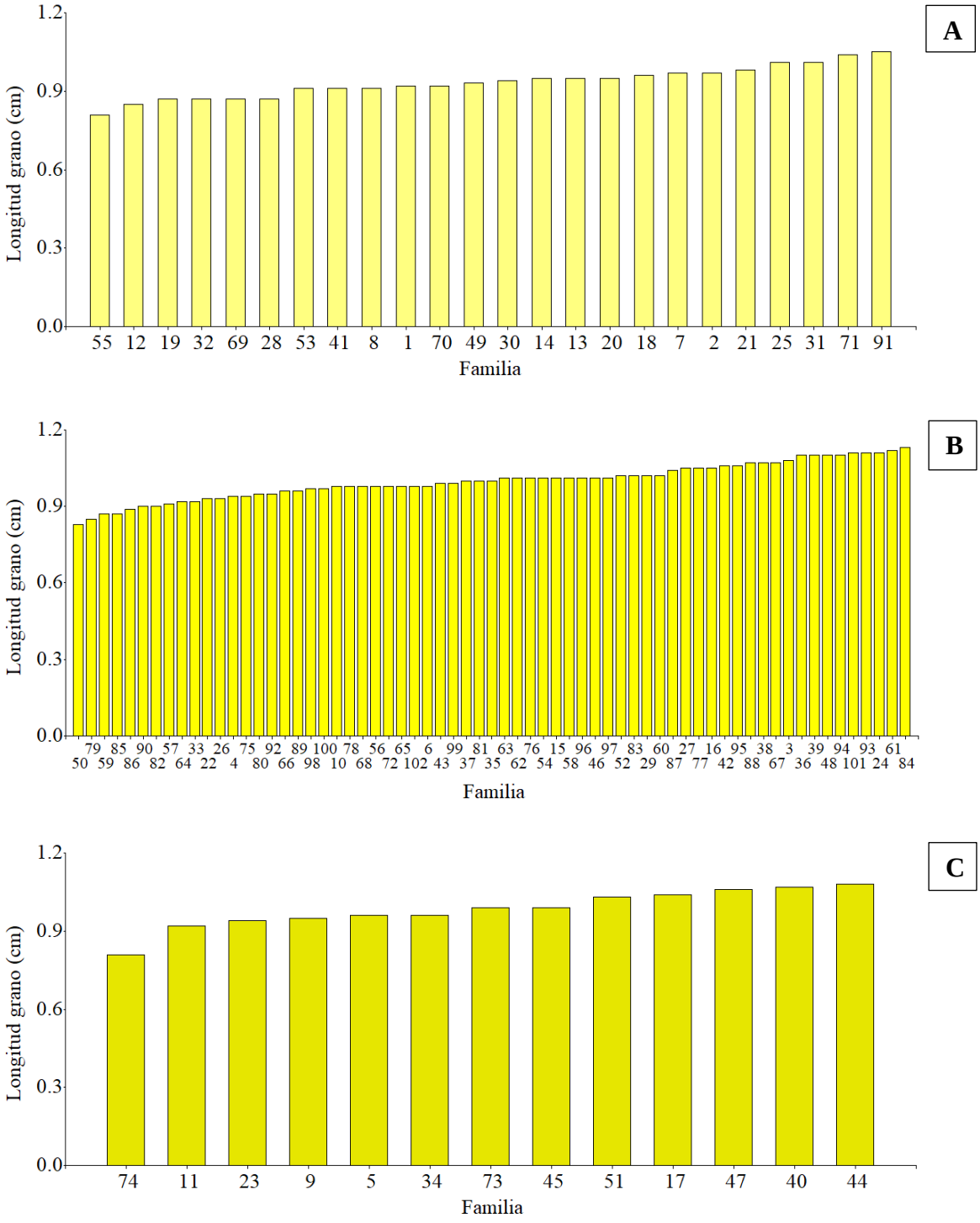
4.6.7 Longitud del grano

El análisis de conglomerados para la variable longitud del grano presentó diferencias estadísticas significativas entre grupos ($p = 0.0007$). El Grupo 2 compuesto por 65 familias, presentó el mayor valor promedio de 1 cm, sin embargo, la mayoría de las familias se concentran en un rango intermedio cercano a 0.95 y 1.05 cm, diferenciándose significativamente del Grupo 1 (Figura 49B). De manera similar, el Grupo 3 presentó una longitud de grano elevada de 0.98 cm, donde la familia 74 fue la que registro menor tamaño del grano con 0.80 cm. (Figura 49C), estadísticamente comparable al Grupo 2, lo que indica granos de mayor tamaño en ambos grupos, mientras en el Grupo 1, registró la menor longitud (0.93 ± 0.01 cm) (Figura 49A), diferenciándose de los 2 grupos. Estos resultados ponen de manifiesto una variación significativa en la longitud del grano entre los grupos analizados, característica

que resulta importante para la calidad física del grano y el potencial productivo, particularmente en materiales de maíz tipo canguil rojo.

Figura 49

Longitud del grano según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo



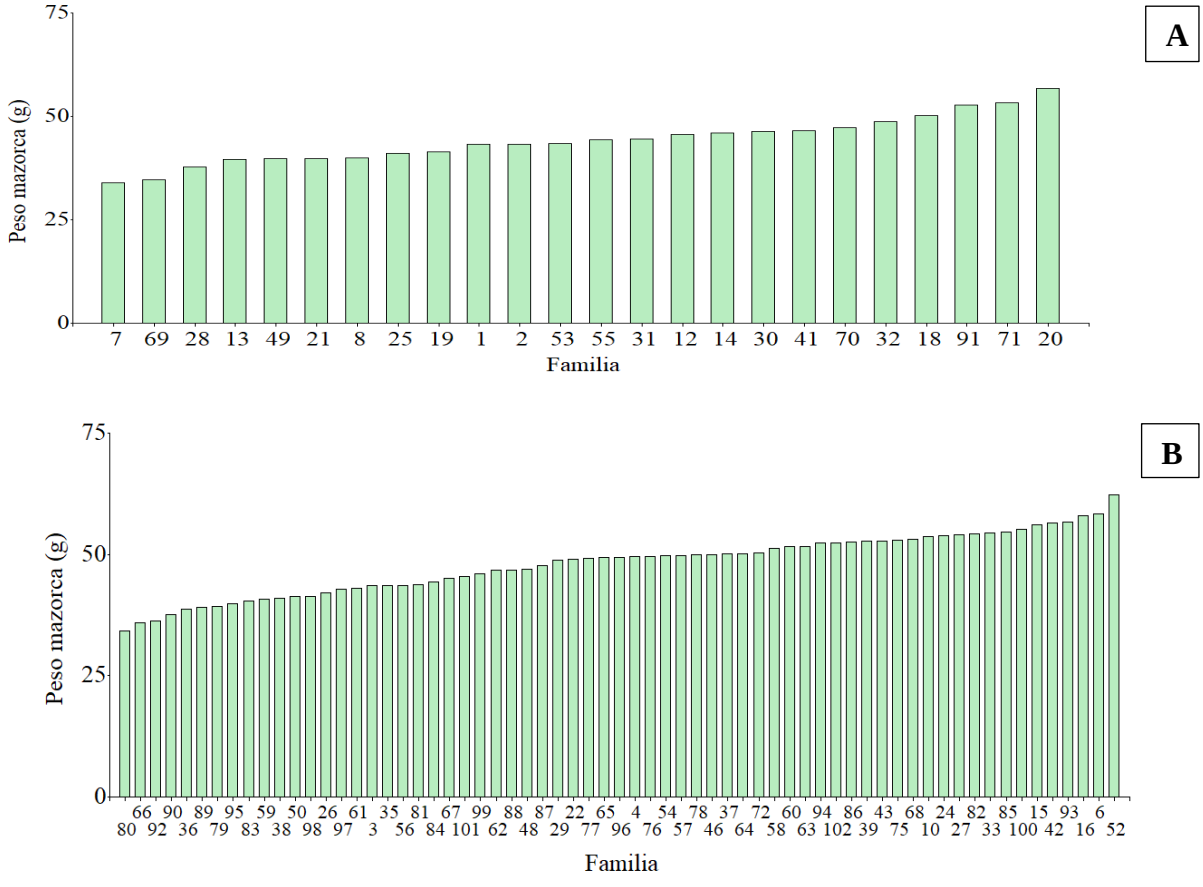
Nota. Longitud del grano que pertenece al Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

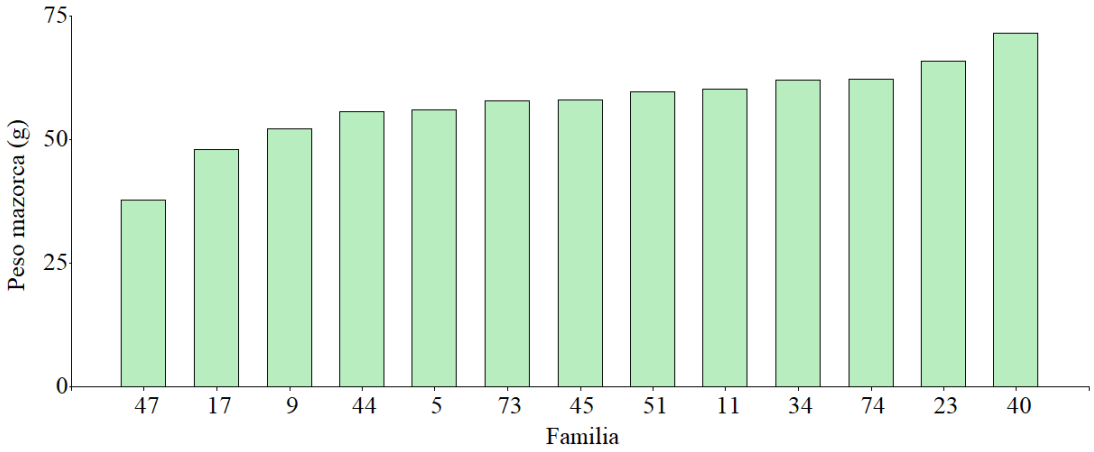
4.6.8 Peso de la mazorca

A través del análisis de conglomerados para la variable peso de la mazorca se mostraron diferencias significativas ($p < 0.0001$), evidenciando una mejor conformación de la mazorca en el Grupo 3, compuesto por 13 familias (Figura 50C), mostrando que los pesos varían aproximadamente entre 38 y 72 g con una media de 57.45 g, lo cual indica que existe una variabilidad moderada. Las primeras familias presentan los pesos más bajos, destacándose la familia 47 con un peso de 37.8 g, mientras que la familia 40 registró el mayor peso de 71.6 g. Mientras que el Grupo 2 compuesto por 65 familias, con una media de 48.06 g. En este grupo las familias presentan pesos que van desde los 33 y 62 g, mismo que indica que existe una variabilidad moderada, mientras que la familia 80 fue la que registró menor peso con 34.2 g; mientras que la familia 52 fue la destaco al presentar el mayor peso de la mazorca con 62.2g. (Figura 50B). Así mismo, el Grupo 1 conformado por 24 familias, mostraron una media de 44.18 g, siendo la familia 7 y 69 las que registraron menor peso dentro de este grupo con 34 g, mientras que la familia 20 registró el mayor peso con 56.8 g (Figura 50A).

Figura 50

Peso de la mazorca según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo





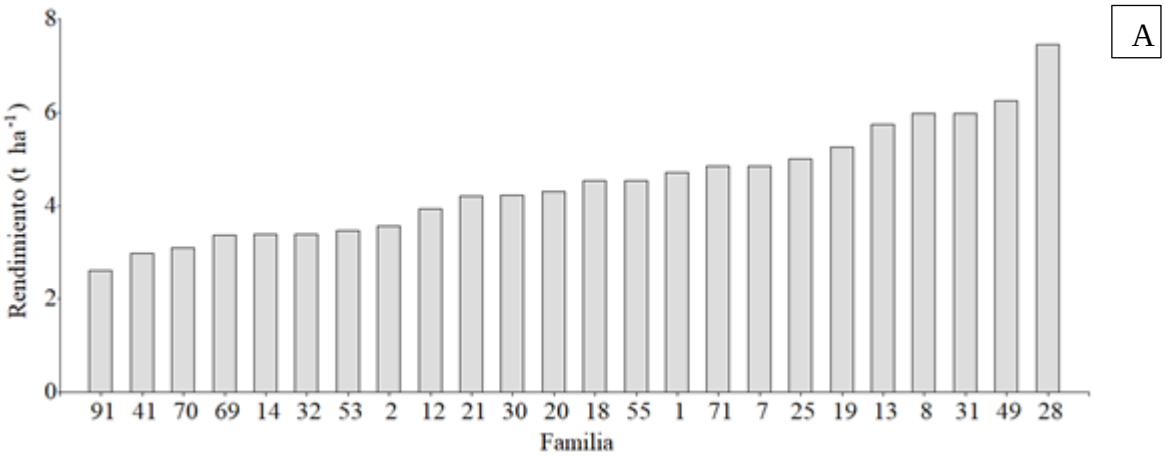
Nota. Peso de la mazorca que pertenece al grupo 1 (A); grupo 2 (B); grupo 3 (C)

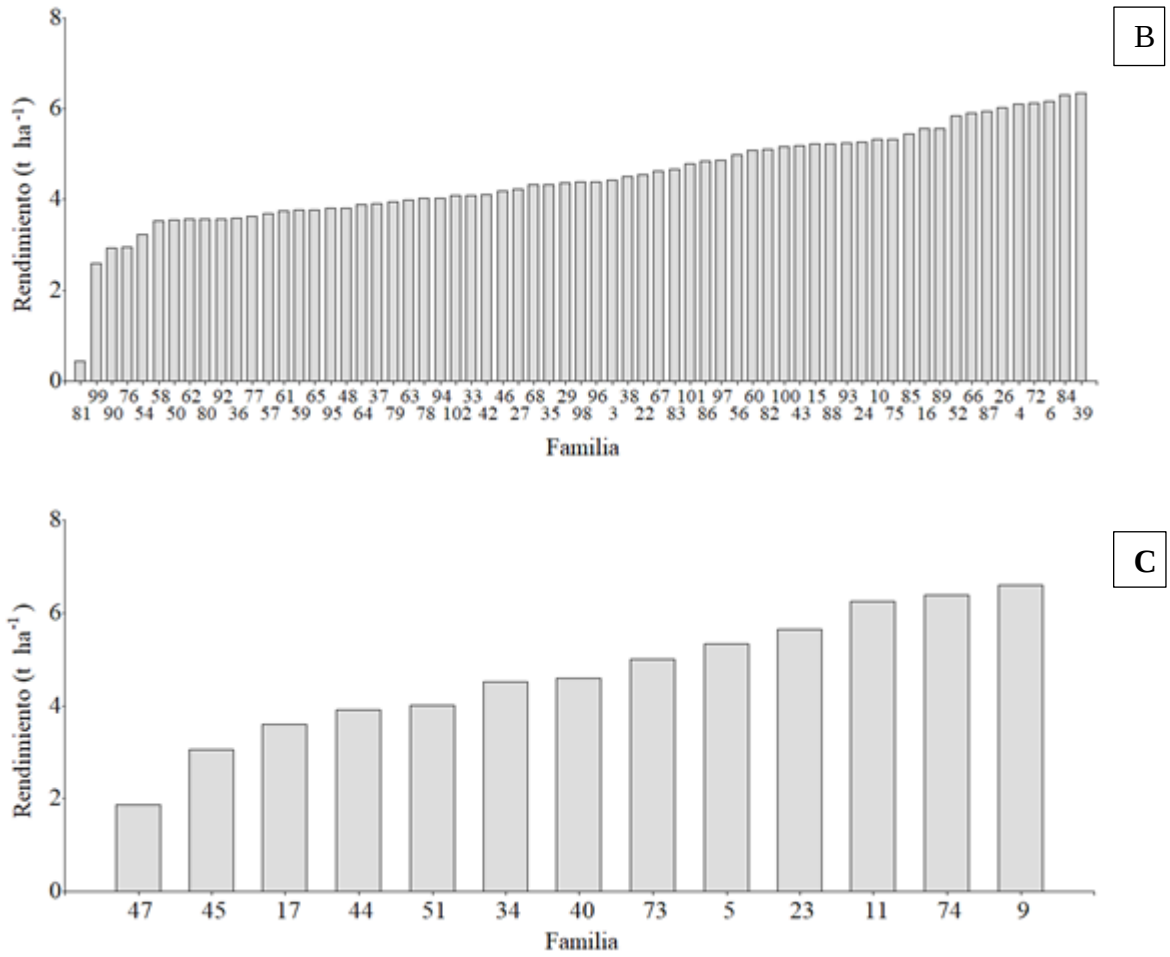
4.6.9 Rendimiento del grano

El rendimiento (t·ha⁻¹) no presentó diferencias significativas entre los grupos evaluados (p = 0.8561), con promedios de 4.48 ± 0.23 t·ha⁻¹ en el Grupo 1 (Figura 51A), 4.49 ± 0.14 t·ha⁻¹ en el Grupo 2 (Figura 51B) y 4.68 ± 0.31 t·ha⁻¹ en el Grupo 3 (Figura 51C), todos dentro del mismo grupo estadístico. Esto sugiere que, aunque se observaron diferencias en ciertas características morfológicas del grano y la mazorca, estas no impactaron de manera significativa la productividad final**,** manteniéndose el rendimiento relativamente uniforme entre los grupos de maíz raza canguil rojo.

Figura 51

Rendimiento del grano según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo





Nota. Rendimiento del grano $(t \cdot ha^{-1})$ del Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

4.6.10 Porcentaje de mazorcas rojas

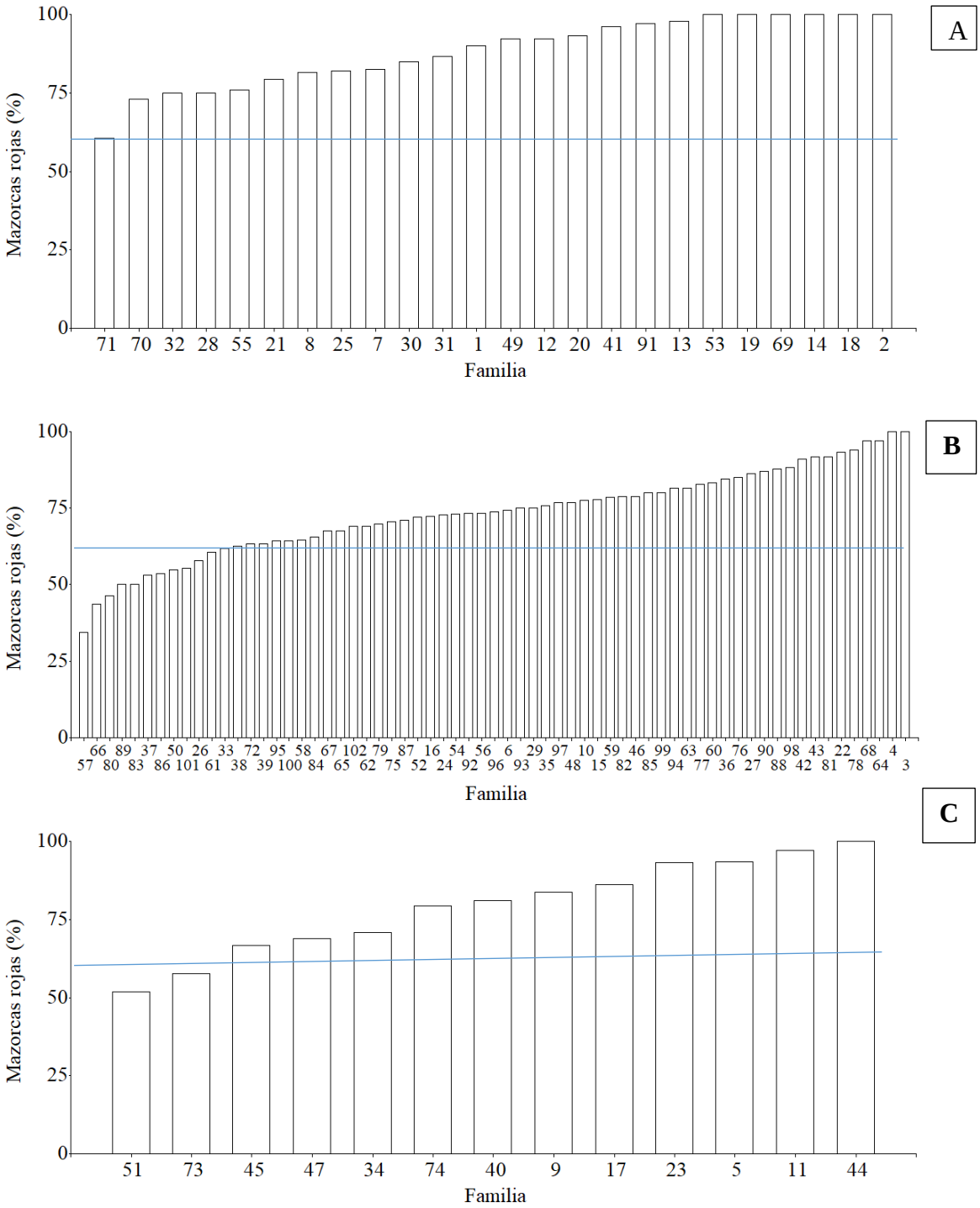
El Grupo 1 compuesto por 24 familias (Figura 52A), registró el mayor porcentaje promedio de mazorcas rojas**,** con una media de 88.14 **%**. En este grupo, los valores oscilaron entre 60 y 100 %, lo que evidencia la existencia de variabilidad entre familias; no obstante, la mayoría se concentró en rangos elevados (80-100 %), destacando varias familias que alcanzaron el 100 % de mazorcas rojas, lo cual refleja alta pureza o expresión del carácter. En contraste, la familia 71 presentó el valor más bajo con 60.5 %. Por su parte, el Grupo 3, compuesto por 13 familias (Figura 52C)**,** con una media de 79.24 %, dentro de este, el 15.38 % de las familias presentaron bajos porcentajes, como la familia 51 con 51.9 % y la familia 73 con 57.6 %, mientras que las familias 11 y 44 alcanzaron los mayores porcentajes con 97.2 % y 100 %, respectivamente.

Finalmente, el Grupo 2, conformado por 65 familias (Figura 52B), presentó el menor promedio con 73.44 %, agrupando las mazorcas con menor proporción de coloración roja; en este caso;

la familia 57 registró el valor más bajo con 34.5 %, mientras que la familia 3 y 4 destacaron al alcanzar el 100 % de mazorcas rojas.

Figura 52

Porcentaje de mazorcas rojas según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo



Nota. Porcentaje de mazorcas rojas Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

4.7 Análisis de la variable porcentaje de reventado en tres grupos encontrados en 102 familias de maíz raza canguil rojo

4.7.1 Porcentaje de reventado

El porcentaje de reventado no mostró diferencias estadísticas significativas entre los grupos evaluados (p = 0.1668). Los valores promedios obtenidos fueron muy cercanos entre sí: 64.25 ± 3.23 % para el Grupo 1 (Figura 53A), 57.17 ± 1.96 % para el Grupo 2 (Figura 53B) y 60.77 ± 4.38 % para el Grupo 3(Figura 53C), ubicándose todos dentro del mismo grupo estadístico**.** Los resultados muestran una baja variabilidad de esta característica.

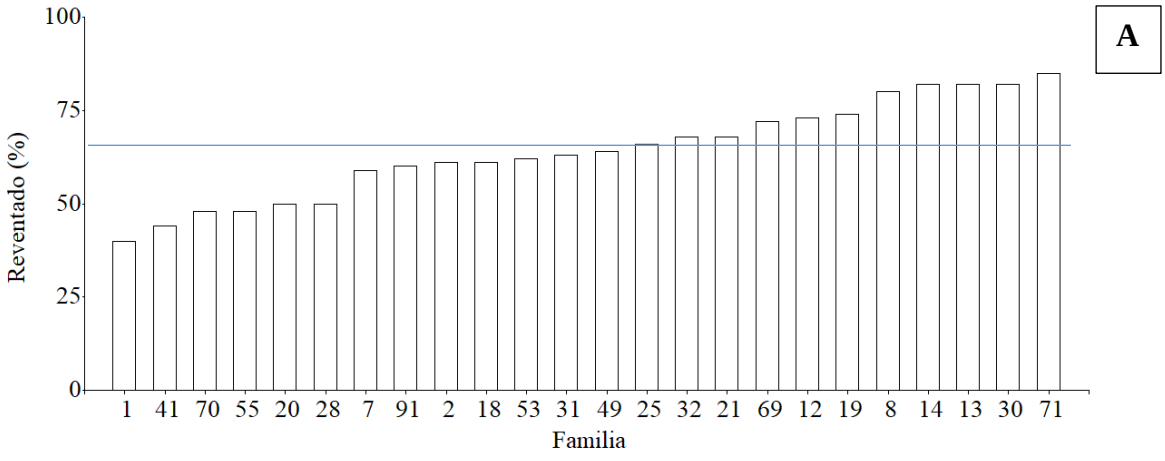
El grupo 1, conformado por 24 familias, registró una media de 64.25 %, esto evidenció variabilidad en el porcentaje de reventado. En este sentido, el 25 % de las familias presentó valores bajos, comprendidos entre 40 % - 50 %. Por otro lado, el 54.16 % registro porcentajes intermedios, que oscilaron entre 59 % - 74 %, mientras que el 20.83 % alcanzó los valores más altos, con rangos entre 80 % y 85 % de reventado.

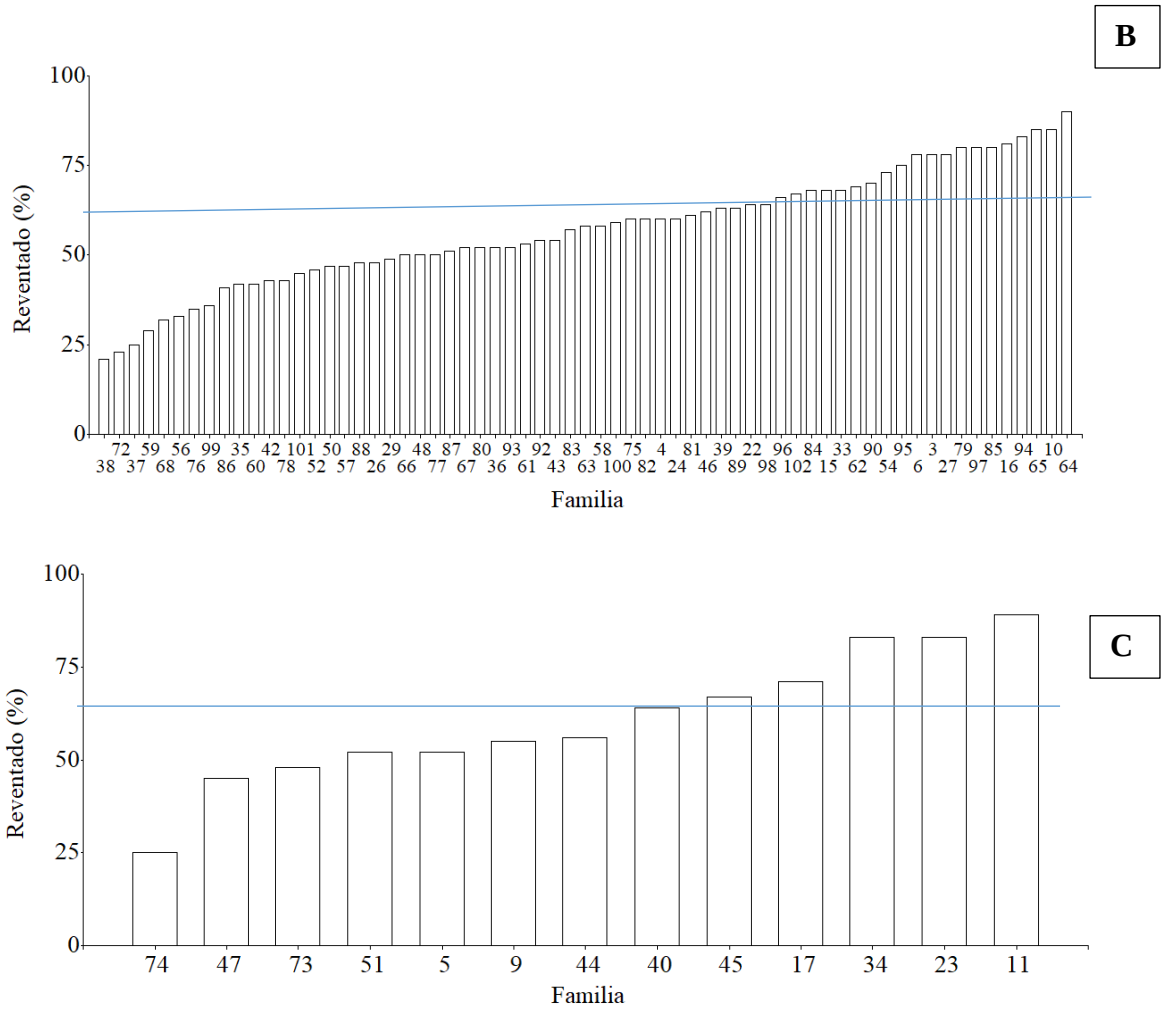
El grupo 2, constituido por 65 familias, evidenció que existe variabilidad en el porcentaje de reventado dentro de las familias evaluadas. En particular, las familias 38,72 y 37 registraron los valores más bajos, con 21 %, 23 % y 25 %, respectivamente. En contraste, la familia 64 alcanzó el mayor porcentaje de reventado, con un valor de 90 %.

Finalmente, el Grupo 3, conformado por 13 familias, la familia 74 registró el porcentaje de reventado más bajo con 25 % mientras que la familia 11 presentó el mejor porcentaje de reventado con 89 %.

Figura 53

Porcentaje de reventado según grupos conformados en el estudio de maíz raza canguil rojo





Nota. Porcentaje de reventado que pertenece al Grupo 1 (A); Grupo 2 (B); Grupo 3 (C)

4.8 Selección de materiales promisorios de la población en estudio

Para la selección de materiales promisorios destinados al sexto ciclo de selección, se tomó en cuenta variables agronómicas, así como el porcentaje de reventado y el porcentaje de color rojo de la mazorca, características consideradas de mayor interés para el mejoramiento genético del maíz canguil rojo**.** En el Grupo 1, conformado por 24 familias, de las cuales 17 presentaron valores superiores al 60% tanto en reventado como en mazorcas rojas. El Grupo 2**,** integrado por 65 familias, 29 familias reportaron porcentajes mayores al 60 %, mientras que en el Grupo 3**,** formado por 13 familias, 6 alcanzaron estos niveles, ver Tabla 18. En total, 52 familias de los tres grupos evaluados se identificaron como materiales élite para continuar con estudios y programas de mejoramiento del maíz raza canguil rojo.

Tabla 18

Características de las familias promisorias del maíz tipo canguil

Grupos	Familias	D_F_F	AL_P (cm)	%MZ_RJ	R_G (t/ha^{-1})	%_RV
1	2	86	2.29	61	100.0	3.56
1	8	86	2.33	80	81.60	5.98
1	12	86	2.62	73	92.30	3.93
1	13	86	2.11	82	97.80	5.75
1	14	88	2.44	82	100.0	3.39
1	18	84	2.48	61	100.0	4.53
1	19	79	2.40	74	100.0	5.26
1	21	79	2.55	68	79.30	4.20
1	25	79	2.38	66	82.10	5.01
1	30	79	2.56	82	85.00	4.23
1	31	79	2.17	63	86.50	5.98
1	32	84	2.41	68	75.00	3.38
1	49	84	2.23	64	92.30	6.24
1	53	84	2.34	62	100.0	3.47
1	69	84	2.04	72	100.0	3.36
1	71	79	2.51	85	60.50	4.85
1	91	86	1.98	60	97.10	2.60
2	3	88	2.45	78	100.0	4.43
2	4	88	2.61	60	100.0	6.10
2	6	84	2.49	78	74.30	6.16
2	10	84	2.47	85	77.50	5.32
2	15	79	2.16	68	77.80	5.22
2	16	79	2.30	81	72.20	5.57
2	22	86	2.58	64	93.30	4.55
2	24	88	2.55	60	72.70	5.27
2	27	84	2.62	78	86.40	4.22
2	33	79	2.16	68	61.80	4.09
2	39	88	2.40	63	63.40	6.35
2	46	84	2.03	62	78.90	4.18
2	54	84	1.91	73	73.10	3.24
2	62	84	2.04	69	69.00	3.57
2	64	86	2.39	90	97.00	3.89
2	65	86	2.50	85	67.70	3.78
2	75	86	2.32	60	70.60	5.32
2	79	86	2.33	80	69.80	3.96
2	81	93	2.49	61	91.70	0.44
2	82	86	2.43	60	78.80	5.10
2	84	86	2.11	68	65.60	6.30
2	85	82	2.04	80	80.00	5.44
2	90	96	2.18	70	87.00	2.94
2	94	86	2.00	83	81.50	4.03

2	95	86	2.15	75	64.30	3.81
2	96	93	2.17	66	73.70	4.39
2	97	93	2.27	80	76.70	4.86
2	98	84	2.04	64	88.20	4.39
2	102	86	2.24	67	69.00	4.08
3	11	86	2.44	89	97.20	6.24
3	17	79	2.51	71	86.20	3.61
3	23	79	2.56	83	93.10	5.65
3	34	88	2.50	83	70.80	4.52
3	40	84	2.39	64	81.10	4.59
3	45	84	2.13	67	66.70	3.06

Nota. D_F_F; Días a la floración femenina, AL_P (cm); Altura de la planta, %_MZ_RJ; Porcentaje de mazorcas rojas, R_G (t ha-^{1}); Rendimiento del grano, %_RV; Porcentaje de reventado

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se identificó que las familias que integran el Grupo 3 presentan los mejores componentes de rendimiento, este grupo reportó 29 granos por hilera, longitudes de mazorca de 12.58 cm, y diámetros de 3.29 cm. Aunque el rendimiento del grano en los tres grupos es estadísticamente igual, el Grupo 3 tiene la medida numérica más alta con rendimientos por hectárea de cerca de 5 toneladas a diferencia de los grupos 1 y 2, que presentaron rendimientos por hectárea de 4 toneladas aproximadamente.

Para la selección de materiales promisorios de maíz palomero, se consideraron exclusivamente el porcentaje de reventado y el porcentaje de mazorcas rojas, dado que constituyen los caracteres de mayor relevancia para este tipo de maíz. Bajo este criterio, se identificaron 52 familias que cumplieron con el umbral establecido (superiores al 60 % en ambas variables), las cuales se clasificaron como materiales élite para continuar en los procesos de mejora genética. Estas familias corresponden a los códigos (2, 8, 12, 13, 14, 18, 19, 21, 25, 30, 31, 32, 49, 53, 69, 71, 91, 3, 4, 6, 10, 15, 16, 22, 24, 27, 33, 39, 46, 54, 62, 64, 65, 75, 79, 81, 82, 84, 85, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 11, 17, 23, 34, 40 y 45).

Respecto al análisis por conglomerados, el Grupo I integró 17 familias promisorias; de estas, los materiales 2, 14, 18, 19, 53 y 69 alcanzaron el 100 % de mazorcas rojas, mientras que las familias 8, 13, 14, 31 y 71 registraron un porcentaje de reventado de entre el 80 % y 85 %. Por su parte, el Grupo II identificó 29 familias, donde las familias 3 y 4 exhibieron el 100 % de mazorcas rojas, y las familias 10, 64, 79, 85, 94 y 97 superaron el 80 % en capacidad de reventado. Finalmente, el Grupo III agrupó 6 familias (11, 17, 23, 34, 40 y 45) que manifestaron rangos de reventado del 71 % al 89 % y de mazorcas rojas del 70.8 % al 97.2 %.

5.2 Recomendaciones

Continuar con los siguientes ciclos de selección del cultivo de maíz raza canguil rojo, priorizando las 52 familias élite que exhibieron una expresión superior al 60% tanto en el porcentaje de reventado como en la coloración roja de la mazorca para avanzar hacia el sexto ciclo de selección, con el fin de seguir fijando los caracteres deseados. Este enfoque permitirá consolidar una variedad mejorada que combine un alto potencial productivo con características innovadoras para el sector agrícola nacional.

Evaluar estas 52 familias élite en distintas localidades con microclimas similares dentro de la provincia de Imbabura. Esto permitirá que el rendimiento y la calidad de reventado sean estables fuera de la zona de Chaltura.

Se recomienda realizar un análisis del canguil a nivel de laboratorio para determinar características nutricionales asociadas al grano o el reventado del mismo.

REFERENCIAS

Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *Cultivos Tropicales, 30(2)*, 113-120.

Acosta, R. M. (2013). Evaluación morfoagronómica de una población de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batabanó, provincia Mayabeque. *Cultivos Tropicales*, *34*(3), 39-46. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000300006

Aguilar, D. (2019). *Efectos de macronutrientes principales sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz canguil* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio UTB.

Aguirre, G. (2021). *Mejoramiento genético de poblaciones de maíz mediante selección recurrente de familias de medios hermanos*. Editorial Universitaria.

Ángeles, E., Ortiz, E., López, P., & Lopéz, G. (2015). Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac.

Applied Food Research, *4*(1), 100399. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100399

Ávila, A., Ávila, J., Salazar, M., Heredia, F., Rivas,J. (2014). *Generalidades y sistemas de producción en el noroeste* [Doctoral dissertation]. UNIVERSIDAD DE SONORA.

Barreto, L. (2020). *Comportamiento morfológico y agronómico de diferentes cultivares de maíz (Zea mays) en la granja Santa Inés* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16139

Bautista-Ramírez, E. (2019). Características físicas y químicas de la raza de maíz Palomero

Bellon, M. R., Dulloo, E., Sardos, J., Thormann, I., & Burkart, S. (2021). *The conservation of agrobiodiversity in situ: A review of concepts, evidence, and future directions*. Environmental Reviews.

Bernardi, L. (2010). Perfil de maíz pisingallo (Zea mays L. var. everta). Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 13.

Berry, P., Sterling, M., Spink, J., Baker, C., Sylvester-Bradley, R., Mooney, S., Tams, A., & Ennos, A. (2004). Comprensión y reducir el acame en los cereales. *Avances en Agronomía (pp. 217-271).*

Bhushan, B., Kumar, S., Kaur, C., Devi, V., Chaudhary, D. P., Singh, A., Dagla, M. C., Karjagi, C. G., Saleena, L. A. K., Chandran, D., & Kumar, M. (2024). Más allá de los colores: los beneficios para la salud de las antocianinas del maíz.

Borrás, L., & Otegui, M. E. (2001). Respuesta del peso del grano de maíz a la relación fuente-sumidero posfloración. *Crop Science*, *41(6), 1816-1822.*

Cabiedes C., M., & Moreno A., F. (2022). *INIAP-198: Variedad mejorada de canguil para la Sierra* (Plegable No. 107). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Calderón-Sánchez, F., García-Perea, H., & Pizeno-García, J. L. (2024). Eficiencia de la estratificación en el rendimiento y la expansión del maíz palomero en el contexto de la selección masal. *Agronomy*, *14*(1), 172.

Carrillo, C. (2009). El origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica Ciencias. *R,92(93)*,4-13.

Cassaday, K., Smale, M., Fowler, C., & Heisey, P. W. (2001). *Adopción de variedades mejoradas de maíz y trigo: El papel del fitomejoramiento público y privado*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Castañeda, L. (2020). *Estudio de la variabilidad morfológica del maíz* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio UTN.

Caviedes-Cepeda, M., Carvajal-Larenas, F., & Zambrano-Mendoza, J. L. (1998). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, *14*(1).

CIMMYT. (2017). Protocolos para mediciones de plantas en las plataformas de investigación. DF

CIMMYT. (2021). *Guía para la fenología y el manejo del cultivo de maíz*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Clemens, Z. (2021). Aves y abejas en la polinización del maíz. Iastate.edu. Recuperado el 20 de enero de 2025, de https://crops.extension.iastate.edu/blog/mark-licht-zachary-clemens/birdsand-bees-corn-pollination

Coral Valenzuela, J. V., Andrade Bolaños, H. J., Pumisacho Gualoto, M. M., Caicedo Chávez, J. D., & Salazar Vizuete, D. R. (2019). Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, *11*(1), 40–49. https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.458

Córdova, R., & Salazar, M. (2012). Manejo de la polinización en cultivos de maíz y otros cereales. *Revista Latinoamericana de Agricultura Sostenible*, 9(2), 112-118.

Cortez, H. (2020). *Fisiología de la germinación y nutrición inicial en cereales andinos*. Editorial Académica Universitaria.

Delgado, J. (2016). *Más sobre el proceso de polinización en el maíz*. Intagri.

Deras, H. (2010). Guía técnica El cultivo del maíz. En H. Deras, Guía técnica El cultivo del maíz (pág. 42).

Edmeades, G. O., Bolaños, J., & Lafitte, H. R. (2000). Bases fisiológicas para el mejoramiento del *maíz*. CIMMYT.

Eyhérabide, G. (2018). Bases para el manejo del cultivo de maíz. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Factos, M. (2025). *Selección de familias promisorias de maíz canguil rojo (Zea mays L.) en la Sierra norte del Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional UTN.

Feldmann, M., & Sánchez, F. (2018). El maíz en la agricultura mundial: Taxonomía y variedades. *Boletín de Investigación Agrícola Internacional, 16(1),* 12-24.

Figueroa, T., Parrales, A., Moran, J., García, J., Ortega, J. (2022). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÒGICA Y ETNOBOTÀNICA DEL MAÌZ CRIOLLO (Zea mays L.) EN LA COMUNA SANCÀN, ECUADOR,6(2),* 101-116.

García, J. (2002). Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos. Fitotecnia Maxicana, 7.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante. (s.f.). *San José de Chaltura*. https://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/chaltura/

Gómez, C., & García, S. (2017). *Control de la densidad poblacional en maíz y su impacto en la productividad*. *Revista de Agroecología y Sustentabilidad, 9(2),* 88-95.

González-Cortés, Nicolás, Silos-Espino, Héctor, Estrada Cabral, Juan Carlos, Chávez-Muñoz, José Archivaldo, & Tejero Jiménez, Leonardo. (2016). Características y propiedades del maíz (Zea mays L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(3),* 669-680. Recuperado en 18 de mayo de 2026, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=es.

Gualotuña, G., & Vásquez, R. (2020). Composición nutricional del maíz canguil rojo: Un alimento tradicional de alto valor. *Revista Ecuatoriana de Nutrición y Alimentación, 18(4),* 45-59.

Guzmán, A. (2017). *Etapas fenológicas del maíz (Zea mays L.) Tusillo bajo las condiciones climáticas del cantón Cumandá, provincia de Chimborazo* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].

Guzzon, F., et al. (2021). Conservación y uso de la diversidad del maíz latinoamericano. *Agronomía, 11(1),* 172.

Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. B. (2010). Genética cuantitativa en el mejoramiento del maíz. Springer Science & Business Media. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4856

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (1989). *INIAP-192 e INIAP-198: Variedades mejoradas de maíz canguil para la Sierra ecuatoriana*. Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2020). *Guía técnica: El cultivo de maíz en la Sierra ecuatoriana*. Estación Experimental Santa Catalina. https://repositorio.iniap.gob.ec/

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2022). El FIASA, un mecanismo financiero para el desarrollo e innovación de una agricultura sustentable

Interface, T. (2015). Resuelven el misterio de por qué explotan las palomitas de maíz. BBC Mundo: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/02/150212_palomitas_maiz_explosionlp.

Iza Benavides, D. N. (2025). *Evaluación agronómica del maíz (Zea mays L.) con diferentes estrategias de fertilización, en San José De Chaltura - Imbabura*. (Tesis de Grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Izquierdo, R. (2012). Evaluación del cultivo de maíz (*Zea mays)* como complemento a la alimentación de bovinos de leche en época de escasez de alimento Cayambe-Ecuador (Tesis de pregrado), Universidad Politécnica Salesiana Sede-Quito. Repositorio Institucional. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1832/15/UPSYT00102.pdf

Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research, 61*(1), 1361779. https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779

Lagos, K. (2020). Evaluación agronómica de familia de medios hermanos. Actualidad & Divulgación Cientifica, 10. Editorial Agrícola Española.

Lema, S. (2017). Tumarina y el maíz [Tesis de Licenciatura, Univesisdad San Fransisco de Quito].

Lima, J. (2021). Evaluación agronimica del cultivo de maíz de la raza canguil rojo [Tesis Ingeniería, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio UTN.

López, A., Martínez, J., y Ramírez, C. (2014). *Factores determinantes en la formación del rendimiento del maíz (Zea mays L.) bajo condiciones de estrés*. Editorial Agronómica Iberoamericana.

Martínez de la Cruz, E. B. (2011). La arquitectura radicular del maíz (*Zea mays* L.). UMSNH. Obtenido de https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/6/6

Nielsen, R. L. (2020). Guía visual del desarrollo del maíz. Universidad de Pardue, Departamento de Agronomía.

Nolasco-Guzmán, Vicente, Calyecac-Cortero, Humberta Gloria, Muñoz-Orozco, Abel, Miranda-Rangel, Andrés, & Cuevas-Sánchez, Jesús Axayacatl. (2016). Evaluación experimental de germinación y emergencia en semillas de piñón mexicano del Totonacapan. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *7*(8), 1959-1971. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007093420160008019 59&lng=es&tlng=es.

Obando, S. (2019). Caracterizaciòn morfològica de maìz blanco harinoso (Zea mays L.) material nativo “Chazo” provincia de chimborazo. Universidad Técnica de Ambato. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29726/1/Tesis234%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20636.pdf

O-Olán, M., Santacruz, A., Sangerman, D., Gámez, A., Vázquez, J., Bustos, M., Ávila, A. (2018). Estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(7), 1471-1482. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1675

Ortíz, M., Reza, M., & Meza, J. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. Biotecnia, 7.

Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D., & Marathée, J. P. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Paredes, M., Castillo, G., & Torres, L. (2015). *Diversidad y mejoramiento genético del maíz en Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Patel, J., Patel, N., & Shiyani, R. (2001). Coeficiente de variación en los experimntos de campo y su criterio. México.

Pazmiño, P. (2011). Utilización de la cebada, grano y corontas de maíz negro en la elaboración de una bebida. Sangolqui: Tesis.

Peñaherrera, D. (2011). Manejo integrado del cultivo de maíz de altura. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Peña-Lomelí, A. G.-R.-P.-C.-L. (2013). Selección temprana en familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara de la raza Puebla. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027152X2013000100001

Peña-Lomelí, A., Sahagún-Castellanos, J., Magaña-Lira, N., & Villaseñor-Perea, C. A. (2013). *Manual de fitomejoramiento de plantas alógamas*. Universidad Autónoma Chapingo.

Reyes, C. (2018). Los requerimientos hídricos del maíz.

Rodríguez, F., & Vásquez, L. (2015). *Técnicas de polinización artificial en cultivos comerciales*. *Boletín de Biotecnología Agrícola, 8(3),* 56-63.

Sánchez, C. (2012). El maíz para canguil desaparece de los suelos de Ecuador. *El Comercio*. https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/maiz-canguil-desaparece-de-suelos.html

Sánchez, G. (2012). *Erosión genética de los maíces de color en el Ecuador y su impacto en las estadísticas agrícolas*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Sánchez-Rodríguez, A., López-Bellido, L., & García-López, J. (2020). *Morfología y fisiología de las gramíneas de ciclo estival*. Editorial Agrícola Española.

Sangoi, L. (2001). Comprensión de los efectos de la densidad de plantas en el crecimiento y desarrollo del maíz: un aspecto importante para maximizar el rendimiento de grano. *Ciencia Rural, 31(1),* 159–168.

Saquimux, I. (2011). Selección masal en el cultivo de maíz (Zea mays L.) para pequeños agricultores. Quetzaltenango.

Sauthier, M. A., & Castaño, F. D. (2004). Dispersión del polen en un cultivo de maíz. Ciencia, Docencia y Tecnología, XV (29), 229-246.

Sevilla, R., & Holle, M. (2004). *Recursos genéticos vegetales*. Editorial Fundica.

Silva, R., Garcia, P., Faleiro, D., & Lopez, C. (2018). Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. Bioagro, 30(1), 6777. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316336120180001000 07&lng=es&tlng=es.

SIPA. (2023). *Cifras Agroproductivas*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1962). The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon, 11(2),* 33-40.

Stitzer, M. C., & Ross-Ibarra, J. (2018). Domesticación del maíz e interacción genética. Nuevo fitólogo, *220*(2), 395–408.

Tapia, B., Paredes, N., Naranjo, E., Tacán, M., Monteros, A., Pérez, C., Valverde, Y. (2017). Caracterización morfológica de la diversidad de razas de Zea mays en la Sierra norte de Ecuador. Nexo Revista

Tollenaar, M., & Lee, E. A. (2002). Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research, 75(3),* 161–169.

Trujillo, T. (2024). Evaluación del tercer ciclo de selección por medios hermanos del cultivo de maíz raza canguil rojo (Zea Mays L. Var Everta), en la granja experimental La Pradera Imbabura. Tesis Ingeniería, Universidad Técnica del Norte. Repositorio UTN. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16066

Vallejo, F. (2024). *Manual de procedimientos para la evaluación de variables cuantitativas en el cultivo de maíz (Zea mays L.)*. Editorial Universitaria.

Valverde, M. (2015). Caracterización e identificación de razas de maíz en la provincia del Azuay. Cuenca: Tesis.

Vásquez, M., Martínez, L.H., y Gonzales, H. J. (2016). Caracterización agronómica básica de las principales variedades de maíz criollo que se cultiva en cinco municipios del Departamento de Cuscatlan [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/11736/

Vega, M. A. (1972). *Morfología y estabilidad del rendimiento en el cultivo de maíz*. Editorial Agronómica.

Velásquez Puente, R. A. (2023). *Evaluación de una población de medios hermanos de maíz raza canguil (Zea mays L. var.* Everta) *en la Granja Experimental La Pradera, provincia de Imbabura* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15146

Villarruel Valenzuela, N. (2010). *Monografía de la parroquia "San José de Chaltura."* Imbabura.

Wang, C., Li, H., Long, Y., Dong, Z., Wang, J., Liu, C., Wei, X., & Wan, X. (2023). Investigación sistemática de la arquitectura genética y los recursos génicos que

controlan los caracteres relacionados con el tamaño del grano en el maíz. International Journal of Molecular Sciences, *24*(2), 1025. https://doi.org/10.3390/ijms24021025

Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., & Hernández, E. (2010). *Razas de maíz: Su origen, características y distribución*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (Trabajo original publicado en 1951).

Xóchitl F. de la Rosa Reyna, Xóchitl, Garcia León, Israel, Hernández Mendoza, José, Morales Baquera, Jaime, & Quiroz Velásquez, Jesús Di Carlo. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, *39*(5), 1-9.

Xu, G., Zhang, X., Chen, W., Zhang, R., Li, Z., Wen, W., Warburton, M. L., Li, J., Li, H., & Yang, X. (2022). La genómica poblacional de especies de *maíz* identifica firmas de selección durante la domesticación y adaptación del maíz. *Biología Vegetal BMC*, *22*(1), 72. https://doi.org/10.1186/s12870-022-03427-w

Yánez G., C., Zambrano Mendoza, J. L., Caicedo, M., & Heredia, J. (2013). *El cultivo de maíz de altura*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Maíz

Yánez, C., Caviedes, G., Zambrano, J., Caicedo, M., Robles, F., y Tacán, M. (2013). *Catálogo de razas de maíz del Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Yánez, C., Velásquez, J., Peñaherrera, J., Caicedo, M., Heredia, J., Alberto, S. C. C., & Quimbita, A. (2008). *Guía de producción de maíz de altura*. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2440

Yanez, C., Zambrano, L., Caicedo, M., & Heredia, J. (2013). Guía de Producción de maíz para pequeños. Quito Ecuador: Programa de maíz, 28p, (Guía N° 96).

Zambrano, J. L., Tapia, C., Tacón, M., Monteros, A., Sangoquiza, C., & Campaña, D. (2021). *Recursos genéticos de maíz en la Sierra de Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Dirección Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) y Centro KOPIA-Ecuador. https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5813

Zambrano, J. L., Yánez, C. F., & Sangoquiza, C. A. (2021). Mejora genética del maíz en las tierras altas de Ecuador, Perú y Bolivia: una revisión. Agronomía, *11*(2), 212. https://doi.org/10.3390/agronomy11020212

Zambrano, J., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., & Villacrés, E. (2021). *Guía para la producción sustentable de maíz de la Sierra ecuatoriana* (Manual No. 122). INIAP.