UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE 100 ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIAP EN CHALTURA-IMBABURA"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible

AUTOR:

Haro Chávez Joselin Ana

DIRECTOR:

Ing. Doris Salome Chalampuente Flores, PhD.

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE AGROPECUARIA

CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE 100 ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) **PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIAP 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:

Ing. Doris Salome Chalampuente Flores, PhD.
DIRECTORA

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

FIRMA

Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.
ASESORA

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
IMA SUMAC SANCHEZ DE CESPEDES

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:	Haro Chávez Joselin Ana

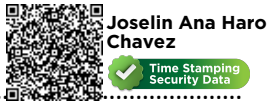
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE 100 ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIAP EN CHALTURA-IMBABURA
AUTOR (ES):	Haro Chávez Joselin Ana
FECHA:	25/11/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
DIRECTORA **ASESORA:**	Ing. Doris Salome Chalampuente Flores, PhD. Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

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 25 días del mes de noviembre de 2026

EL AUTOR:



.....

Nombre: Haro Chávez Joselin Ana

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Haro Chávez Joselin Ana

Ibarra a los 25 días del mes de noviembre de 2026

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

(f)……

Ing. Doris Salome Chalampuente Flores, PhD.

NOMBRE DE LA DIRECTORA

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 25 días del mes de noviembre del 2026

Haro Chávez Joselin Ana: "CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE 100 ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIAP EN CHALTURA-IMBABURA" / Trabajo de titulación. Ingeniera Agropecuaria.
Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 25 días del mes de noviembre del 2026, 101 páginas.

DIRECTORA: Ing. Doris Salome Chalampuente Flores, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Caracterizar morfoagronómicamente 100 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) provenientes del banco de germoplasma del INIAP en Chaltura-Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran:

• Determinar la variabilidad genética de 100 accesiones de quinua empleando descriptores morfológicos y agronómicos.

• Identificar accesiones promisorias a las condiciones edafoclimáticas de Chaltura.

• Analizar la severidad de plagas y enfermedades presentes en la colección de quinua.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, debo agradecer a la Universidad Técnica del Norte que me vio crecer como profesional, especialmente a la Carrera de Agropecuaria y a todo el personal docente que con paciencia me han impartido sus conocimientos.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y al Banco Nacional de Germoplasma del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) por proporcionar material genético para el desarrollo de la presente investigación, en especial al Ingeniero Edwin Naranjo quien fue un apoyo importante en la ejecución de este trabajo.

Al Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sostenible (FIASA) a través del proyecto: "Fortalecimiento del Centro de Bioconocimiento La Pradera como eje integrador de Bancos comunitarios de semillas de Imbabura y la generación de sistemas agroalimentarios más sostenibles y resilientes", y de igual manera al Ingeniero Alexis Pijuango, técnico del FIASA por su apoyo en la ejecución del presente trabajo.

De igual manera, agradezco a mi directora de tesis, la doctora Doris Chalampuente, por estar presente en el proceso de elaboración del presente trabajo, ya que su guía y recomendaciones fueron valiosas para el desarrollo del mismo. Asimismo, a mi asesora, la magíster Ima Sánchez, por sus aportes y correcciones. Asimismo, agradezco al cuerpo de apoyo de la granja La Pradera al Sr. Juan y al Ing. Néstor Vélez por su colaboración en la fase de campo de este trabajo.

De manera especial, agradezco a mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida. A mis padres y hermanos, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional; por creer en mí y ser parte importante en cada uno de mis logros.

También quiero abrir un espacio para agradecer a mis amigos y compañeros, en especial a Pamela Cachipuendo, Anahí Lara y Wendy Coyago, quienes fueron pilares fundamentales en esta etapa de mi vida. A Alex Tuquerres, por su apoyo incondicional y por haberse convertido en una parte indispensable de mi día a día; y finalmente, a todas las personas que, a lo largo de este camino, contribuyeron a la culminación de este sueño.

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza de voluntad, la paciencia y la oportunidad para cumplir este sueño. A mis padres, Luis Haro y Rocío Chávez, por su apoyo y amor incondicional y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, el trabajo y la perseverancia. A mis hermanos, por acompañarme en cada etapa de mi vida. Su apoyo ha sido fundamental para llegar hasta aquí. A mis amigos, quienes hicieron parte de esta experiencia por su motivación y confianza. Finalmente, dedico este logro a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación personal y profesional. Con todo mi cariño y gratitud, les dedico este logro.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS XIII

ÍNDICE DE FIGURAS XV

RESUMEN XVII

ABSTRACT XVIII

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Antecedentes 1

1.2 Problema 3

1.3 Justificación 4

1.4 Objetivos 5

1.4.1 Objetivo general *5*

1.4.2 Objetivos específicos *5*

1.5 Hipótesis 5

1.5.1 Hipótesis nula (Ho): *5*

1.5.2 Hipótesis alternativa (Ha): *5*

CAPÍTULO II 6

MARCO TEÓRICO 6

2.1 Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) 6

2.2 Origen y distribución de la quinua 6

2.3 Importancia de la quinua 6

2.3.1 Importancia nutricional *6*

2.3.2 Importancia económica y social en el Ecuador *6*

2.4 Cultivo de quinua en Ecuador 7

2.5 Taxonomía de la quinua 7

2.6 Morfología 8

2.7 Fenología 8

2.7.1 Etapa vegetativa *9*

2.7.2 Etapa reproductiva *9*

2.8 Manejo del cultivo de quinua 10
2.8.1 Preparación del terreno *10*
2.8.2 Selección de semillas *11*
2.8.3 Siembra *11*
2.8.4 Densidad de siembra *11*
2.8.5 Labores culturales *11*
2.8.6 Cosecha y postcosecha *12*
2.9 Requerimientos del cultivo 12
2.9.1 Rango altitudinal: *12*
2.9.2 Precipitaciones: *12*
2.9.3 Temperatura óptima: *12*
2.9.4 Suelo *13*
2.9.5 Fertilización *13*
2.10 Plagas y enfermedades 13
2.10.1 Mildiu (Peronospora variabilis Gaum.*)* *13*
2.10.2 Chupadera fungosa (Pythium sp., Fusarium sp., Rhizoctonia solani Kühn*)* *13*
2.10.3 Trips (Frankliniella sp. Karny*)* *13*
2.11 Marco legal 14
CAPÍTULO III 15
MATERIALES Y MÉTODOS 15
3.1 Caracterización del área de estudio 15
3.1.1 Condiciones edafoclimáticas *15*
3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas 15
3.3 Métodos 16
3.3.1 Factor en estudio *16*
3.3.2 Diseño experimental *16*
3.3.3 Características del experimento *18*
3.3.4 Características de la unidad experimental. *18*
3.3.5 Análisis estadístico *18*
3.3.6. Variables evaluadas *19*
3.6.1.1 Días a la emergencia (Emg). 19
3.6.1.2 Días a la formación de botón floral (número) (DFB). 19

3.6.1.3 Días hasta el inicio de la floración (número) (DIF). 19
3.6.1.4 Días al final de floración (número) (DFF). 19
3.6.1.5 Días a la cosecha (número) (DIC). 19
3.6.1.6 Rendimiento de semillas por planta (g) (Rto). 19
3.6.1.7 Peso de 100 semillas (g) (P100s). 19
3.6.1.8 Índice de cosecha (IC)(Número) (IdC). 19
3.6.1.9 Altura de la planta (cm) (Alt). 19
3.6.1.10 D10_DmtT-Diámetro del tallo principal (cm). 20
3.6.1.11 Longitud máxima de la hoja (cm) (LHj). 20
3.6.1.12 Ancho máximo de la hoja (cm) (AnHj). 20
3.6.1.13 Longitud del pecíolo (cm) (LPcl). 20
3.6.1.14 Contenido de saponinas (%) (%Spn). 21
3.6.1.15 Hábito de crecimiento (HCr). 21
3.6.1.16 Color del tallo principal (CT). 22
3.6.1.17 Presencia de ramificación (PRm).. 22
3.6.1.18 Presencia de axilas pigmentadas (Paxp). 22
3.6.1.19 Presencia de estrías (PEts). 23
3.6.1.20 Color de estrías (CEts). 23
3.6.1.21 Forma de la hoja (FHj).. 23
3.6.1.22 Margen de la hoja (MrgHj). 23
3.6.1.23 Densidad de la panoja (DPnj). 23
3.6.1.24 Color de la lámina foliar (CHj). 23
3.6.1.25 Forma de la panoja (FPnj). 24
3.6.1.26 Presencia de saponinas (PSpn). 24
3.6.1.27 Acame (%) (Acm). 24
3.6.1.28 Color de la panoja en floración (CPnjF). 24
3.6.1.29 Color de la panoja en la madurez fisiológica (CPnjMF). 25
3.6.1.30 Color del pericarpio (CPrcp). 25
3.6.1.31 Severidad del ataque de enfermedades. 26
3.4 Manejo específico del experimento 27
3.4.1 Preparación del terreno *27*
3.4.2 Delimitación de área experimental *27*
3.4.3 Siembra *27*
3.4.4 Labores culturales *28*

3.4.4.1 Raleo.. 28
3.4.4.2 Deshierbes y aporques. 28
3.4.4.3 Riego. 28
3.4.5 Control fitosanitario 28
3.4.6 Fertilización 29
3.4.7 Cosecha 30
3.4.8 Secado y trillado 31
3.4.9 Limpieza de semillas y almacenamiento 31
CAPÍTULO IV 33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 33
4.1 Análisis poblacional de la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP 33
4.1.1 Análisis de los descriptores fenológicos en la colección de quinua evaluados en Chaltura-Imbabura 33
4.1.2 Análisis de los descriptores morfológicos en la colección de quinua evaluados en Chaltura-Imbabura 34
4.1.3 Análisis de los descriptores de rendimiento y calidad de grano en la colección de quinua evaluados en Chaltura-Imbabura 36
4.2 Descripción de los caracteres morfológicos cualitativos de la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP 38
4.2.1 Hábito de crecimiento 38
4.2.2 Color del tallo principal 39
4.2.3 Presencia de ramificación 40
4.2.4 Presencia de axilas pigmentadas 41
4.2.5 Color de estrías 42
4.2.6 Forma de la hoja 42
4.2.7 Margen de la hoja 43
4.2.8 Color de la lámina foliar 43
4.2.9 Forma de la panoja 44
4.2.10 Densidad de la panoja 45
4.2.11 Color de la panoja en floración 45
4.2.12 Color de la panoja en la madurez fisiológica 47
4.2.13 Color del pericarpio 48

4.2.14 Presencia de saponinas *48*
4.2.15 Acame de tallo (%) *50*
4.3 Análisis estadístico de las características morfoagronómicas de la colección de quinua 51
4.4 Análisis de conglomerados en la colección de quinua 53
4.5 Variabilidad fenotípica de la colección de quinua a nivel grupal 53
4.5.1 Caracteres cuantitativos *53*
4.5.1.1 Descriptores fenológicos. 54
4.5.1.2 Descriptores morfológicos. 54
4.5.1.3 Rendimiento y calidad del grano. 55
4.5.2 Caracteres cualitativos *56*
4.6 Identificación de morfotipos por conglomerados 56
4.6.1 Caracteres asociados al tallo *56*
4.6.2 Caracteres asociados a la hoja *57*
4.6.3 Caracteres asociados a la panoja *57*
4.6.4 Caracteres asociados a la semilla *57*
4.7 Severidad de plagas y enfermedades presentes en la colección de quinua 59
4.7.1 Severidad de plagas y enfermedades en accesiones del grupo 1 ..... *59*
4.7.2 Severidad de plagas y enfermedades en accesiones del grupo 2 ..... *60*
4.7.3 Severidad de plagas y enfermedades en accesiones del grupo 3 ..... *62*
4.8 Selección de materiales promisorios por conglomerados 64
4.8.1 Materiales promisorios identificados del Grupo 1 ..... *64*
4.8.2 Materiales promisorios identificados del Grupo 2 ..... *65*
4.8.3 Materiales promisorios identificados del Grupo 3 ..... *66*
CAPÍTULO V 68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68
5.1 Conclusiones 68
5.2 Recomendaciones 69
CAPÍTULO VI 70
REFERENCIAS 70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Taxonomía de la quinua* 8
Tabla 2 *Caracterización del área de estudio.* 15
Tabla 3 *Materiales, equipos, insumos y herramientas que se emplearán en la investigación.* 16
Tabla 4 *Características del área experimental.* 18
Tabla 5 *Características de la unidad experimental.* 18
Tabla 6 *Hábitos de crecimiento identificados en quinua.* 22
Tabla 7 *Escala de color principal del tallo en quinua* 22
Tabla 8 *Escala de color de las estrías de quinua en floración.* 23
Tabla 9 *Escalas de color de la lámina foliar en quinua.* 24
Tabla 10 *Escala de forma de la panoja en quinua.* 24
Tabla 11 *Escala para el descriptor color de la panoja en floración de quinua.* 25
Tabla 12 *Escala de color de la panoja en la madurez fisiológica en quinua.* 25
Tabla 13 *Escala de color del pericarpio en granos de quinua.* 26
Tabla 14 *Escala visual de severidad del ataque de mildiu (Peronospora variabilis)* 26
Tabla 15 *Escala de severidad del ataque de pudrición de tallo en quinua.* 26
Tabla 16 *Insecticidas y fungicidas utilizados en el cultivo de quinua.* 29
Tabla 17 *Fertilizantes edáficos y foliares empleados en el manejo del experimento.* 29
Tabla 18 *Medidas resumen de la variabilidad fenológica encontrada en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.* 34
Tabla 19 *Medidas resumen de la variabilidad morfológica identificada en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP* 36
Tabla 20 *Medidas resumen para variables relacionadas con el rendimiento y la calidad del grano en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.* 38
Tabla 21 *Vectores propios de los primeros dos componentes principales en la caracterización de la colección de quinua.* 51
Tabla 22 *Análisis de varianza para variables cuantitativas según conglomerados formados en la colección de quinua.* 55

Tabla 23 *Valores discriminantes en caracteres cualitativos polimórficos obtenidos en la diferenciación agromorfológica según conglomerados formados de la colección de quinua.* 56
Tabla 24 *Frecuencias relativas por conglomerados de los descriptores cualitativos que fueron polimórficos en las 72 accesiones de quinua evaluadas.* 57
Tabla 25 *Características agronómicas de variedades de quinua mejoradas liberadas por el INIAP.* 64
Tabla 26 *Accesiones del grupo 1 como posibles materiales promisorios.* 65
Tabla 27 *Accesiones del grupo 2 como posibles materiales promisorios.* 66
Tabla 28 *Accesiones del grupo 3 como posibles materiales promisorios.* 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Distribución de la producción de quinua en toneladas en Ecuador para el año 2024.* 7
Figura 2 *Estados fenológicos del cultivo de quinua.* 10
Figura 3 *Localización geográfica del área de estudio.* 15
Figura 4 *Esquema del diseño en Bloques Completos al Azar y de la unidad experimental.* 17
Figura 5 *Medición de la altura de la planta con un flexómetro.* 20
Figura 6 *Medidas de la hoja.* 21
Figura 7 *Flujograma del procedimiento para la determinación del contenido de saponinas en quinua mediante el método espumoso de Koziol.* 21
Figura 8 *Siembra manual de quinua a chorro continuo.* 27
Figura 9 *Deshierbe manual de la quinua previo a la fertilización y aporque.* 28
Figura 10 *Cosecha manual de la quinua en la etapa de madurez fisiológica.* 31
Figura 11 *Secado de las panojas bajo invernadero.* 31
Figura 12 *Limpieza manual de las semillas de quinua usando tamices y almacenado en fundas de papel.* 32
Figura 13 *Porcentajes y categorías de hábitos de crecimiento identificados en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.* 39
Figura 14 *Porcentajes y categorías de color del tallo identificados en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 40
Figura 15 *Categorías y frecuencias de la presencia de ramificaciones identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.* 41
Figura 16 *Porcentajes y categorías de la presencia de axilas pigmentadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.* 41
Figura 17 *Porcentajes y categorías de color de estrías identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 42
Figura 18 *Porcentaje y categorías de la forma de la hoja identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 43
Figura 19 *Porcentaje y categorías del margen de la hoja identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP***.** 43

Figura 20 *Porcentajes y categorías del color de la lámina foliar identificados en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 44
Figura 21 *Porcentajes y categoría de la forma de la panoja identificada en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 45
Figura 22 *Categorías y frecuencias de la densidad de la panoja identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 45
Figura 23 *Categorías del color de la panoja en floración identificadas en la colección de quinua.* 46
Figura 24 *Porcentajes y categorías del color de la panoja en la madurez fisiológica identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 47
Figura 25 *Porcentajes y categorías del color del pericarpio identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 49
Figura 26 *Porcentajes y categorías de la presencia de saponinas identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 50
Figura 27 *Categorías y frecuencias del porcentaje de acame identificado en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.* 50
Figura 28 *Distribución de las variables originales de accesiones sobre el primer y segundo componente principal en la caracterización de la colección de quinua.* 52
Figura 29 *Dendrograma obtenido del análisis de conglomerados basado en 30 caracteres fenotípicos de 72 accesiones de quinua.* 53
Figura 30 *Severidad máxima alcanzada del ataque de mildiu en accesiones del conglomerado 1 a lo largo de todo el ciclo de cultivo.* 60
Figura 31 *Número de especímenes de trips registrados a lo largo del ciclo de cultivo en accesiones de quinua del conglomerado 1.* 60
Figura 32 *Severidad máxima alcanzada del ataque de mildiu en accesiones del conglomerado 2 a lo largo de todo el ciclo de cultivo.* 61
Figura 33 *Número de especímenes de trips registrados a lo largo del ciclo de cultivo en accesiones de quinua del conglomerado 2.* 61
Figura 34 *Severidad máxima alcanzada del ataque de mildiu en accesiones del conglomerado 3 a lo largo de todo el ciclo de cultivo.* 62
Figura 35 *Número de especímenes de trips registrados a lo largo del ciclo de cultivo en accesiones de quinua del conglomerado 3.* 63

CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE 100 ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIAP EN CHALTURA-IMBABURA

Haro Chávez Joselin Ana

Universidad Técnica del Norte

Correo: jaharoc@utn.edu.ec

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano andino nativo de los Andes de Sudamérica; es considerada un superalimento de alto valor nutricional y una especie rústica de amplia variabilidad genética. Ecuador posee una amplia diversidad de genotipos nativos de quinua, con escasa investigación, lo que limita la identificación de materiales con alto potencial productivo y tolerancia a factores adversos. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar morfoagronómicamente 72 accesiones de quinua conservadas en el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en Chaltura-Imbabura. Se analizaron 30 caracteres fenológicos, morfológicos y agronómicos, mediante el análisis de medidas de resumen, tablas de frecuencia, análisis de conglomerados y de varianza por grupos. En general, se observó una baja variabilidad en la colección en cuanto a descriptores fenológicos (CV<20 %), mientras que los descriptores agronómicos como el rendimiento (CV=63.6 %) y contenido de saponinas (CV=90.5 %) mostraron una alta variabilidad. Entre los caracteres morfológicos cualitativos más sobresalientes predominaron el hábito de crecimiento ramificado hasta el tercio medio, hojas romboidales de margen aserrado, panojas de densidad intermedia y amplia diversidad de colores de tallos, panojas y semillas. El análisis de conglomerados muestra la formación de tres grupos, destacando el Grupo 3 que mostró las mejores características agronómicas y tolerancia a mildiu y trips. En conclusión, la colección evaluada presentó una amplia diversidad fenotípica en caracteres morfológicos y agronómicos. Las accesiones ECU-238, ECU-283, ECU-27789, ECU-243, ECU-290, ECU-27784, ECU-27787, ECU-27194 y ECU-27195 presentaron características morfoagronómicas sobresalientes, por lo que constituyen materiales promisorios para programas de fitomejoramiento.

Palabras clave*:* pseudocereal andino, grano de oro, Chenopodiaceas, diversidad morfogronómica, fitomejoramiento.

MORPHO-AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF 100 QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) ACCESSIONS FROM THE INIAP GERMPLASM BANK IN CHALTURA-IMBABURA

Haro Chávez Joselin Ana

Universidad Técnica del Norte

Correo: jaharoc@utn.edu.ec

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an Andean grain native to the Andes of South America; it is considered a superfood of high nutritional value and a hardy species with wide genetic variability. Ecuador possesses a broad diversity of native quinoa genotypes with scarce research, which limits the identification of materials with high yield potential and tolerance to adverse factors. The objective of the present study was to morpho-agronomically characterize 72 quinoa accessions conserved in the Germplasm Bank of the National Institute of Agricultural Research (INIAP) in Chaltura, Imbabura. Thirty phenological, morphological, and agronomic traits were analyzed using summary statistics, frequency tables, cluster analysis, and analysis of variance by groups. Overall, low variability was observed in the collection regarding phenological descriptors (CV < 20 %), whereas agronomic descriptors such as yield (CV = 63.6 %) and saponin content (CV = 90.5 %) showed high variability. Among the most prominent qualitative morphological traits, a branching growth habit up to the middle third, rhomboidal leaves with serrated margins, intermediate-density panicles, and a wide diversity of stem, panicle, and seed colors predominated. Cluster analysis revealed the formation of three groups, highlighting Group 3, which exhibited the best agronomic traits as well as tolerance to downy mildew and thrips. In conclusion, the evaluated collection exhibited wide phenotypic diversity in morphological and agronomic traits. Accessions ECU-238, ECU-283, ECU-27789, ECU-243, ECU-290, ECU-27784, ECU-27787, ECU-27194, and ECU-27195 displayed outstanding morpho-agronomic characteristics, making them promising materials for plant breeding programs.

Keywords: Andean pseudocereal, golden grain, Chenopodiaceae, morpho-agronomic diversity, plant breeding.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se caracteriza por ser un grano andino (Centro Internacional de la Quinua [CIQ], 2022). Este pseudocereal es nativo de América del Sur; su origen se ubica específicamente en los Andes de Bolivia y Perú (Fundación para la Promoción e Investigación en Productos Andinos [PROINPA], 2011). Esta especie posee una distribución extensa tanto altitudinal como latitudinal, cultivada principalmente en Bolivia, Perú, Ecuador y en el sur de Colombia (Gonzáles y Prado, 2013). Este cultivo presenta un alto potencial productivo en zonas andinas; es una especie anual, dicotiledónea, perteneciente a la familia Amaranthaceae, que alberga alrededor de 250 especies distintas a escala mundial (Vargas et al., 2018; Rizwan et al., 2020).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) catalogó en 1996 a la quinua como uno de los cultivos con gran potencial para el ser humano, no solo debido a sus múltiples aplicaciones y grandes beneficios para la salud, sino también porque es considerada una alternativa para enfrentar los retos de la nutrición humana (PROINPA, 2011). La quinua ha sido apreciada desde los tiempos antiguos en todo el mundo por su alto valor nutricional, gracias a la extraordinaria armonía que posee entre el contenido de grasa, proteína y aceite en comparación con otros cereales. En años recientes, la popularidad de este grano se ha ampliado hasta llegar a ser considerado un superalimento. Asimismo, esta especie tiene componentes antimicrobianos y antioxidantes que previenen enfermedades y favorecen la salud, entre los que destacan los compuestos bioactivos de tipo hidrofílico (ácidos fenólicos, flavonoides, isoflavonas y betacianidinas); estos se encuentran principalmente en genotipos de semillas coloreadas (Vega et al., 2018).

A nivel mundial, se reportan más de 16 000 accesiones de *Chenopodium* recolectadas, preservadas y parcialmente catalogadas en 30 países; la mayor parte de este germoplasma se concentra en Sudamérica (Craine et al., 2023). En Ecuador, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), a través del Departamento Nacional de Recursos

Fitogenéticos (DENAREF), ha creado exitosamente una colección de germoplasma con 608 entradas de quinua provenientes del altiplano ecuatoriano, y como producto de intercambios con otras naciones y organizaciones de la región (Mazón et al., 2001). Sin embargo, en el caso de la quinua no se puede hablar de variedades puras, sino de poblaciones seleccionadas con un cierto nivel de pureza y uniformidad; no obstante, para preservar dicha uniformidad o "pureza varietal", es imprescindible considerar el aislamiento de lotes o accesiones (Nieto et al., 1986a).

La naturaleza rústica y la amplia variabilidad genética de la especie le permiten afrontar condiciones ambientales adversas al exhibir diferentes conductas morfológicas, fenológicas y fisiológicas, que varían en función del clima y el suelo (García y Plazas, 2018; Urdanegui et al., 2021). El estudio de esta variabilidad es un componente crucial del proceso de investigación, fitomejoramiento y conservación, dado que es un elemento clave para solucionar problemas presentes y futuros vinculados con el desarrollo de nuevas estrategias orientadas a la obtención de variedades promisorias a través de técnicas convencionales o biotecnológicas (Borja y Tapia, 2008).

Un estudio realizado por Morrillo et al. (2017) con el propósito de describir la diversidad genética de una colección de 55 materiales de quinua con siete marcadores microsatélites RAMs, evidenció que los materiales de quinua de la colección de la Gobernación de Boyacá son bastante uniformes. No obstante, dicha variabilidad presente puede ser utilizada en los programas de mejora genética de la especie, enfocándose en la producción de nuevos y mejores materiales de quinua.

De igual manera, la investigación realizada por Delgado (2022) sobre biodiversidad y conservación de variedades locales de quinua en la región andina de Ecuador registró elevados niveles de variabilidad para la mayoría de los caracteres morfoagronómicos evaluados. Asimismo, el análisis de conglomerados permitió identificar grupos con características distintivas respecto a caracteres como altura de planta, forma y tamaño de la hoja, rendimiento y pigmentación, caracteres de gran interés para agricultores y fitomejoradores. Complementariamente, la caracterización molecular de las relaciones genéticas entre los genotipos mediante un análisis de coordenadas principales (PCoA) evidenció la existencia de dos grupos genéticamente diferentes.

Asimismo, Castro et al. (2023), en su trabajo de variabilidad morfoagronómica de quinua nativa tipo Chimborazo, evidenciaron variabilidad fenotípica tanto en características cuantitativas como cualitativas. Los caracteres que más contribuyeron a la variabilidad

observada fueron color del tallo y de las estrías, el diámetro y longitud de la panoja y los días a la cosecha.

1.2 Problema

En la actualidad, resulta imprescindible identificar cultivos promisorios que puedan aportar a la seguridad y soberanía alimentaria. En este contexto, la quinoa sobresale como un grano con propiedades inherentes excepcionales, gracias a su extensa variabilidad genética, adaptabilidad a condiciones ambientales adversas, valor nutricional alto, una amplia gama de usos tanto tradicionales como no tradicionales y un bajo costo de producción (Franco et al., 2020). Sin embargo, a pesar del potencial agronómico de la quinoa, esta sigue siendo un cultivo infrautilizado, con relativamente pocos programas de mejora (Jarvis et al., 2017).

Ecuador posee una amplia riqueza de genotipos nativos de quinua; sin embargo, existe una escasa investigación respecto al cultivo, que limita la identificación de variedades con alto potencial productivo y tolerancia a factores adversos (Basantes et al., 2019). En el país se reportan 268 accesiones nativas, 61 de las cuales se colectaron entre 1978 y 1988 y 207 en 2014-2015 en las provincias de Chimborazo, Cotopaxi e Imbabura (Delgado, 2022). No obstante, Peralta (2014) informa que pocas variedades se cultivan con fines comerciales, tales como Tunkahuan, Ingapirca y Pata de Venado, y se estima que el 60 % de la superficie de quinua cultivada pertenece a la variedad INIAP Tunkahuan, lo que representa un riesgo fitosanitario y una pérdida en la diversidad genética.

El resguardo de la diversidad genética y su potencial productivo es de suma importancia para hacer frente a los grandes cambios climáticos, geográficos y socioculturales (Rojas et al., 2010). La erosión genética representa una gran amenaza para los sistemas agroalimentarios, e implica la necesidad de tomar acciones de conservación para apoyar el desarrollo de sistemas de producción sostenibles que permitan afrontar los retos del crecimiento poblacional y de los cambios en el entorno.

En este contexto, la ejecución de estudios que lleven al entendimiento de la genética de la quinua y al descubrimiento de variedades potenciales resulta imprescindible para promover y conservar la diversidad agrícola de la especie (Morrillo et al., 2017). Por tal motivo, el presente trabajo busca caracterizar las accesiones de quinua nativas provenientes del Banco de Germoplasma del INIAP, con el fin de determinar diferencias

propias entre los materiales y el nivel de rendimiento mediante descriptores propuestos por Bioversity International que ayudarán a identificar accesiones de mayor valor real.

1.3 Justificación

La quinua se ha establecido como un superalimento a nivel global, cuya demanda ha aumentado en años recientes; esto se debe sobre todo a su alto valor nutricional (Campos-Rodríguez et al., 2022). Los principales países productores de quinua a nivel mundial son Bolivia, Perú, Argentina, Chile, Colombia y Ecuador, estados en los que la producción de este grano ha generado nuevas oportunidades de progreso económico y representa una importante fuente de ingresos para pequeños y medianos agricultores (Basantes et al., 2019; Castro et al., 2023). Sin embargo, para asegurar el crecimiento sostenible del cultivo, es crucial tener en cuenta su amplia variedad genética y las características de cada región para reconocer líneas potenciales que se adapten a las condiciones locales (Delgado et al., 2019).

El Banco de Germoplasma del INIAP conserva una valiosa colección de quinua, muchas de las cuales fueron colectadas hace más de 30 años. Si bien las condiciones de conservación prolongan la vida útil de las semillas, el almacenamiento a largo plazo tiende a afectar la viabilidad de las mismas, haciendo necesario realizar un proceso de refrescamiento periódico para garantizar la conservación y disponibilidad del germoplasma (FAO, 2014; Walters et al., 2005). Asimismo, la caracterización de los materiales permitirá conocer la variabilidad existente e identificar accesiones con características de interés para programas de fitomejoramiento, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de los recursos fitogenéticos disponibles.

En este contexto, el presente estudio contribuye al refrescamiento y caracterización morfoagronómica de 100 accesiones de quinua parte de la colección del INIAP, y a la identificación de materiales con características agronómicas de interés, para ser reintroducidos a las chacras de productores como parte del proyecto financiado con fondos FIASA a través del proyecto: "Fortalecimiento del Centro de Bioconocimiento La Pradera como eje integrador de Bancos comunitarios de semillas de Imbabura y la generación de sistemas agroalimentarios más sostenibles y resilientes". Esto con la finalidad de robustecer la cadena agroalimentaria, manteniendo la biodiversidad genética del cultivo (Jacobsen y Sherwood, 2002). Favoreciendo la diversificación de los sistemas productivos, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza rural (Rojas y Saavedra, 2022).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Caracterizar morfoagronómicamente 100 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) provenientes del banco de germoplasma del INIAP en Chaltura-Imbabura.

1.4.2 Objetivos específicos

• Determinar la variabilidad genética de 100 accesiones de quinua empleando descriptores morfológicos y agronómicos.

• Identificar accesiones promisorias a las condiciones edafoclimáticas de Chaltura.

• Analizar la severidad de plagas y enfermedades presentes en la colección de quinua.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis nula (Ho):

Las accesiones de quinuas provenientes del Banco de Germoplasma de INIAP no presentan variabilidad morfoagronómica significativa.

1.5.2 Hipótesis alternativa (Ha):

Las accesiones de quinuas provenientes del Banco de Germoplasma de INIAP presentan variabilidad morfoagronómica significativa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

La quinua es una especie dicotiledónea y herbácea, en particular un cultivo tetraploide y halófito que puede llegar a tener una altura de hasta tres metros. Esta especie puede exhibir una variedad de colores entre el verde, el morado y el rojo, o colores intermedios (Guerrero, 2018).

2.2 Origen y distribución de la quinua

La quinua se originó a las orillas del lago Titicaca, y se ha distribuido por todo el altiplano, incluyendo valles interandinos y otras regiones. A lo largo del tiempo ha experimentado una serie de adaptaciones en función del ambiente y el manejo de las culturas que la emplearon (Mujica, 2015). Su distribución geográfica abarca desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altura (Guerrero, 2018). Y desde los 40°S hasta los 2°N en ambientes fríos (zonas andinas) y calurosos (valles andinos) (Jacobsen y Risi, 2001).

2.3 Importancia de la quinua

2.3.1 Importancia nutricional

La quinua es un pseudocereal de alto valor proteico mayor al de otros cereales, y es la única especie vegetal en presentar todos los aminoácidos esenciales; además presenta un alto contenido de ácidos grasos, minerales, vitaminas, fibra y carbohidratos, y no contiene gluten (Angeli et al., 2020; Campos-Rodríguez et al., 2022). Esta combinación de nutrientes convierte a este grano en un alimento con potencial para aportar a la seguridad alimentaria de poblaciones vulnerables (Repo-Carrasco et al., 2003). Por otro lado, la quinua también contiene compuestos bioactivos (antioxidantes y antiinflamatorios) que contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas (Ranjan et al., 2023).

2.3.2 Importancia económica y social en el Ecuador

En 2024, Ecuador exportó 572 toneladas de quinua por un valor de USD 1.6 millones, contribuyendo con el 0.01 % de las exportaciones no petroleras. El cultivo de la quinua se caracteriza por el predominio de pequeños productores (91 %) con unidades

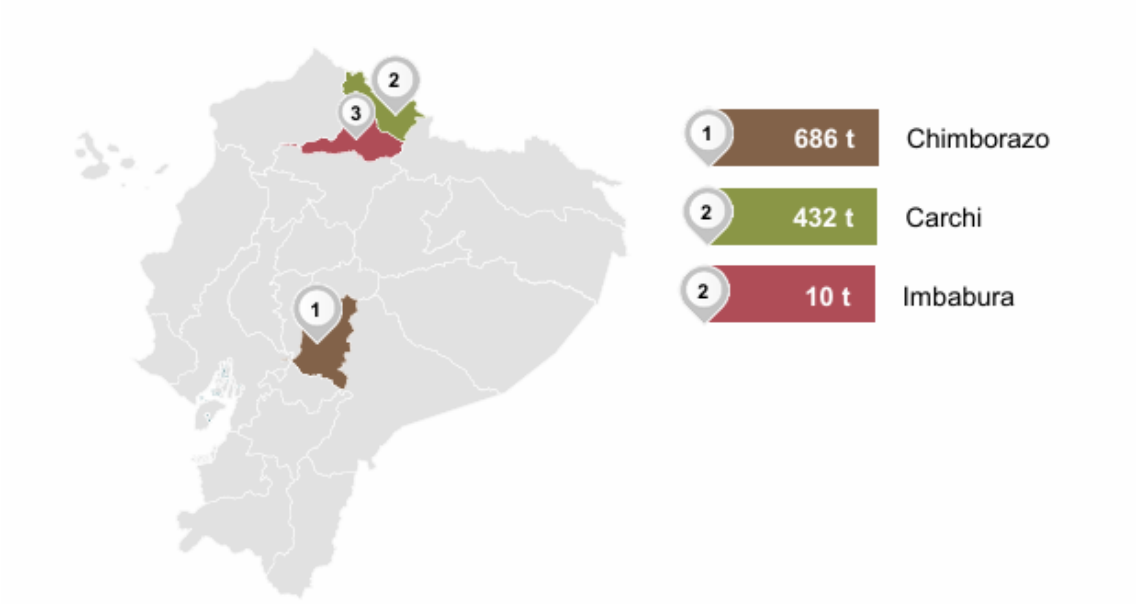
agropecuarias menores a 1 ha. En la actividad productiva de este cultivo participan alrededor de 3270 personas (Salazar et al., 2024). De los cuales el 91 % se autoidentifica como indígena con una edad promedio de 62 años (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2025).

2.4 Cultivo de quinua en Ecuador

La producción de quinua en Ecuador se concentra principalmente en tres provincias: Chimborazo, Carchi e Imbabura (Figura 1), con un rendimiento nacional en promedio de 1.41 tn/ha, siendo un 27.66 % menor que el rendimiento de Perú. La superficie cultivada de este grano es de 800 hectáreas en alrededor de 1986 unidades productivas agropecuarias (UPAs) (MAG, 2025). Los principales destinos de la quinua en 2024 fueron: Estados Unidos (56 %), Canadá (18 %), Francia (12 %), España y Alemania (4 %), Puerto Rico y Países Bajos (3 %), con un precio de exportación de 2.68 USD por kilogramo. De acuerdo con Peralta et al. (2014), el cultivo de la quinua en Ecuador es considerado secundario, no solo por su escasa superficie cultivada, sino por su bajo consumo per cápita (menos de 1 kg/persona/año).

Figura 1

Distribución de la producción de quinua en toneladas en Ecuador para el año 2024.



Fuente: MAG (2025).

2.5 Taxonomía de la quinua

De acuerdo con el Global Biodiversity Information Facility (GBIF) Secretariat (2023), taxonómicamente la quinua se clasifica de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1

Taxonomía de la quinua

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	*Chenopodium*
Especie	*Chenopodium quinoa* Willd.

2.6 Morfología

De acuerdo con Murillo et al. (2023), las características morfológicas de la planta de quinua son las siguientes:

- Raíz tipo pivotante, de donde se origina una gran cantidad de raíces laterales muy ramificadas.
- Tallo cilíndrico en el cuello de la planta y anguloso a partir de las ramificaciones, de color variable desde el verde hasta el rojo, y en ocasiones se presentan estrías y axilas pigmentadas de tono similar.
- Hojas alternas, gruesas y carnosas, cubiertas por cristales de oxalato de calcio, de colores rojo, púrpura o cristalino, en ambos lados de la hoja.
- Inflorescencia en panoja, constituida por un eje central, ramificaciones secundarias, terciarias y pedicelos que sostienen los glomérulos.
- Las flores pueden ser tanto hermafroditas (tienen cinco tépalos, cinco anteras y un ovario súpero con dos o tres ramificaciones estigmáticas) como pistiladas, que se encuentran alrededor y debajo de las flores hermafroditas.
- Fruto aquenio, cubierto por el perigonio que envuelve una única semilla y es de coloración variable.
- La semilla es el fruto maduro sin el perigonio; está constituida por episperma, embrión y perisperma.

2.7 Fenología

Las etapas fenológicas en la quinua están claramente definidas, lo que facilita la identificación de las variaciones que ocurren durante el crecimiento y evolución de la planta (Murillo et al., 2023). De acuerdo con Montes-Rojas et al. (2018), la fase

vegetativa del cultivo incluye cinco etapas y la fase reproductiva siete etapas, las cuales se detallan a continuación (Figura 2):

2.7.1 Etapa vegetativa

- Germinación de la semilla (V0). Emisión de la radícula, la cual ocurre como máximo a las 24 h después de humedecer la semilla.
- Emergencia (V1). Cuando la plántula rompe la superficie del suelo.
- Aparición de hojas verdaderas (V2). Cuando, además de las hojas cotiledonares, aparece la primera hoja verdadera extendida.
- Cuatro hojas verdaderas (V3). Cuando se observan dos pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonares aún se conservan verdes.
- Seis hojas verdaderas (V4). Cuando se observan tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas primarias se tornan de color amarillento por senescencia.
- Ramificación (V5). Cuando se observan cuatro pares de hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas primarias se han caído y dejado cicatriz en el tallo; también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja.

2.7.2 Etapa reproductiva

- Inicio de formación de panoja (R6). Cuando del ápice de la planta la emergencia de la inflorescencia es visible y se observa aglomeración alrededor de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo la panoja.
- Formación de panoja (R7). Cuando se observa claramente la inflorescencia por encima de las hojas, dejando ver claramente los glomérulos que la conforman; además, se pueden observar en los glomérulos de la base los botones florales individuales.
- Inicio de floración (R8). Cuando la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados, se pueden notar en los glomérulos las anteras protegidas por el perigonio de un color verde limón.
- Floración (R9). Cuando el 50 % de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas y la planta comienza a eliminar las hojas inferiores.
- Grano lechoso (R10). Cuando los frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados, explotan y dejan salir un líquido lechoso.
- Grano pastoso (R11). Cuando los frutos son presionados, presentan una consistencia pastosa de color blanco.

- Madurez fisiológica y madurez de cosecha (R12) cuando, al presionar el grano formado con las uñas, presenta resistencia a la penetración, el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16 %, en esta etapa inicia el amarillamiento completo de la planta y hay gran defoliación.

Figura 2

Estados fenológicos del cultivo de quinua.



Etapa V1



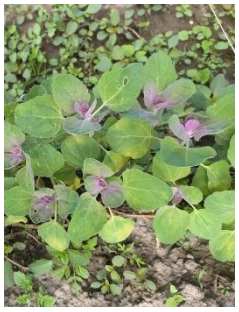
Etapa V2



Etapa V3



Etapa V4



Etapa V5



Etapa R6



Etapa R7



Etapa R8



Etapa R9



Etapa R10



Etapa R11



Etapa R12

2.8 Manejo del cultivo de quinua

2.8.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno es la primera acción en la gestión del cultivo; implica el arado del horizonte superficial del suelo, o zona de desarrollo de la raíz (Calla,

2012). Esto se realiza con la finalidad de garantizar la germinación de la semilla y el adecuado desarrollo del sistema radicular.

2.8.2 Selección de semillas

Según Gómez y Aguilar (2016), para lograr rendimientos altos, se debe realizar una selección de las semillas con base en ciertos requisitos, los que son mencionados a continuación:

- Pureza genética debido al porcentaje de polinización cruzada de la quinua.
- Pureza física: semillas de quinua deben ser enteras y sin daño físico, de buen tamaño y peso y limpias.
- Alto poder germinativo superior al 80 % en un periodo de 5 – 7 días.
- Sanas, libres de enfermedades que se transmiten por semillas como el mildiu.

2.8.3 Siembra

La época de siembra depende de la región geográfica y coincide con la estación de lluvia. En la zona norte del país, se siembra entre junio y julio, mientras que en el sur se realiza entre octubre y noviembre con un ciclo de cultivo de entre 7 y 8 meses (Peralta et al., 2014).

2.8.4 Densidad de siembra

La densidad de siembra depende de algunos aspectos como: el tamaño de la semilla, el sistema de siembra y las prácticas culturales. La distancia entre surcos puede estar entre los 40 y 60 cm (Nieto et al., 1992). La cantidad de semilla requerida, en un sistema de siembra mecanizado, es de 7 a 8 kg/ha, y en siembra manual es de 12 a 15 kg/ha a una profundidad recomendada de 2 a 3 cm, e incluso de 5 cm a chorro continuo.

2.8.5 Labores culturales

- **Deshierbe**

El deshierbe se debe llevar a cabo si el cultivo así lo requiere y en algunos casos llega a ser innecesario, en especial si hubo una preparación adecuada del terreno (Tapia y Aroni, 2022).

- **Aporques**

Es importante realizar el aporque a la par con el deshierbe aproximadamente a los 60 días después de la siembra, especialmente antes de que la planta entre en floración, puesto que esta práctica ayudará a airear el suelo y evitar el volcamiento (AGROCALIDAD, 2015).

- **Raleo**

Procedimiento indispensable para eliminar plantas pequeñas, frágiles o enfermas, y obtener una adecuada densidad de plantas por metro lineal o por área cultivada. Es necesario llevar a cabo el raleo entre 30 y 45 días posteriores a la emergencia (Tapia y Aroni, 2022).

2.8.6 Cosecha y postcosecha

El tiempo óptimo de cosecha de este grano está limitado por factores como la variedad, el suelo, la humedad y la temperatura. Normalmente, un indicador de la madurez fisiológica es que las hojas adquieren un tono amarillento o rojizo. Existen tres técnicas de cosecha: el arranque convencional, el corte con hoz y el corte semimecanizado. Luego de la cosecha, es necesario realizar un proceso de postcosecha que incluye el secado, la trilla, el ventado y finalmente el almacenaje (Veas y Cortés, 2016).

2.9 Requerimientos del cultivo

2.9.1 Rango altitudinal:

Tiene una buena adaptabilidad desde los 2 200 m s.n.m. hasta los 3600 m s.n.m., teniendo en cuenta la frontera agrícola (AGROCALIDAD, 2015). En Ecuador se cultiva la quinua desde los 2 400 a 3 400 metros en distintos sistemas de producción (Murillo et al., 2023).

2.9.2 Precipitaciones:

La quinua muestra tolerancia a la sequía, gracias a varios mecanismos como su sistema radicular profundo y ramificado, y a la disminución de su área foliar por la eliminación de hojas bajo condiciones de estrés (Gómez y Aguilar, 2016). En su periodo de desarrollo vegetativo requiere de precipitaciones en promedio de 400 a 600 mm (Ajhuacho y Baldivieso, 2024).

2.9.3 Temperatura óptima:

Las temperaturas ideales para el crecimiento y desarrollo, en función de las distintas variedades, se encuentran entre los 15 y 25 °C. Sin embargo, es capaz de soportar heladas y altas temperaturas durante las etapas de crecimiento y la formación de la inflorescencia.

Las temperaturas bajas o altas provocan esterilidad de polen y perjudican el desarrollo de la planta, y resultan en granos inmaduros, arrugados o de bajo peso, en función del momento en que ocurre el estrés por temperatura (Gómez y Aguilar, 2016).

2.9.4 Suelo

Es una especie que resiste la sequía y la salinidad (Biondi et al., 2014). Se ajusta mejor a los suelos franco-arenosos, con una alta presencia de materia orgánica y un pH neutro o ligeramente alcalino (Murillo et al., 2023).

2.9.5 Fertilización

Los requerimientos nutricionales de la quinua están dados principalmente por nitrógeno, calcio, fósforo y potasio. Es importante la aplicación de nitrógeno fraccionado en dos partes, la mitad a la siembra y la otra después del primer deshierbe y junto al aporque (Mujica et al., 2001).

2.10 Plagas y enfermedades

2.10.1 Mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.)

El mildiu es la principal enfermedad de la quinua, que usualmente ataca a las hojas transformándolas en cloróticas de forma circular, para después expandirse más hasta desecarlas completamente (Calla, 2012). Esta enfermedad afecta hojas, ramas, tallos e inflorescencias o panojas, en cualquier fase fenológica del cultivo. Los perjuicios son más graves en plantas jóvenes, causan defoliación, perjudicando el desarrollo y fructificación de la quinua (Ortiz et al., 2001).

2.10.2 Chupadera fungosa (Pythium sp., Fusarium sp., Rhizoctonia solani Kühn*)*

Los síntomas característicos de la enfermedad se presentan en la fase cotiledonar (emergencia) con un estrangulamiento en el tallo de las plántulas a nivel del suelo. El estrangulamiento avanza y, al no haber circulación de nutrientes y agua en el tallo, se produce la caída masiva de las plántulas (Cruces y Callohuari, 2016).

2.10.3 Trips (Frankliniella sp. Karny*)*

Estos insectos, tanto en estadios de ninfas como de adultos, se alimentan del contenido de las hojas causando cicatrices, deformaciones, necrosis y dejando manchas plateadas en el envés. Además, se alimentan del polen de las flores. Por otro lado, los trips también son vectores de virus y algunas enfermedades fúngicas (Delgado et al., 2020).

2.11 Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador (2008), en el Artículo 281, menciona que la soberanía alimentaria constituye un objetivo y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente. Para ello, será responsabilidad del Estado: promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella; así como el uso, la conservación e intercambio libre de semillas. Y asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiadas para garantizar la soberanía alimentaria. De igual manera, el Artículo 14 establece como interés público la preservación del ambiente, conservación de los ecosistemas y la integridad del patrimonio genético del país.

Por otro lado, la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (LORSA) en el Artículo 10 acerca de la Institucionalidad de la investigación y la extensión, establece que el Estado debe fortalecer dicha institucionalidad, encargada de la investigación científica, tecnológica y de extensión, sobre los sistemas alimentarios, mediante una asignación presupuestaria progresiva y fomentando la participación de las universidades y colegios técnicos agropecuarios en la investigación y difusión de conocimientos acorde a las demandas de los sectores campesinos.

Asimismo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se relacionan con la presente investigación son el objetivo 2, que busca garantizar hambre cero al promover el aprovechamiento sostenible de los recursos fitogenéticos de la quinua, fortaleciendo así la seguridad alimentaria. De igual manera, se relaciona con el objetivo 15 acerca de la vida de los ecosistemas terrestres, que apoya la conservación de la biodiversidad agrícola fundamental para mantener la diversidad de los ecosistemas. De manera complementaria, la investigación se vincula con el objetivo 13 enfocado en la acción por el clima, ya que disponer de materiales genéticos diversos permitirá hacer frente al cambio climático. Y finalmente se relaciona con el objetivo 9 enfocado en la industria, innovación e infraestructura, puesto que la información generada a partir de la caracterización puede contribuir a programas de conservación y fitomejoramiento de la especie.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

El presente estudio se realizó en la Granja Experimental La Pradera ubicada en la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura (Figura 3).

Figura 3

Localización geográfica del área de estudio.



3.1.1 Condiciones edafoclimáticas

Las condiciones edafoclimáticas de la Granja Experimental La Pradera se describen a continuación en la Tabla 2.

3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

A continuación, en la Tabla 3 se describen los materiales, herramientas, equipos e insumos que se emplearon en la ejecución de la presente investigación.

Tabla 2

Caracterización del área de estudio

Área de estudio	Descripción
Provincia	Imbabura
Cantón	Antonio Ante
Parroquia	San José de Chaltura
Altitud	2350 m s. n. m.
Longitud	0° 21′ 24′′ N
Latitud	78° 12′ 11′′ W
Temperatura media anual	10 - 28 °C
Precipitación media anual	500 - 1500 mm
Humedad relativa	65 - 85 %

Fuente: Gobierno Municipal de Antonio Ante (2019).

Tabla 3

Materiales, equipos, insumos y herramientas que se emplearon en la investigación.

Materiales	Materiales de laboratorio	Equipos	Insumos	Herramientas
100 accesiones de quinua Piola Estacas Libro de campo	Tubos de ensayo Agua destilada Cronómetro Gradilla	Tractor Balanza electrónica Balanza Computadora Pie de rey	Compost Fungicidas Insecticidas Fertilizantes	Azadón Metro Bomba de fumigar

3.3 Métodos

La presente investigación fue de tipo experimental, cuyo propósito fue caracterizar morfológica y agronómicamente 100 accesiones de quinua provenientes del Banco de Germoplasma del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

3.3.1 Factor en estudio

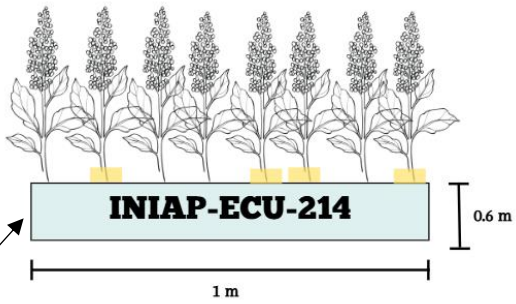
El factor de estudio de esta investigación fueron las accesiones de quinua, con un total de 100 niveles, de las cuales se analizaron sus características morfológicas y agronómicas. La finalidad de la investigación fue conocer la variabilidad fenotípica dentro de la colección y determinar aquellas accesiones promisorias para las condiciones edafoclimáticas de la zona donde se llevó a cabo la fase de campo.

3.3.2 Diseño experimental

En el desarrollo de la investigación se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres bloques, en cada uno de los cuales se colocaron las 100 accesiones de quinua como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Esquema del diseño en Bloques Completos al Azar y de la unidad experimental.



BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3
INIAP- ECU-214	INIAP- ECU-214	INIAP- ECU-214
INIAP- ECU-215	INIAP- ECU-215	INIAP- ECU-215
INIAP- ECU-216	INIAP- ECU-216	INIAP- ECU-216
INIAP- ECU-217	INIAP- ECU-217	INIAP- ECU-217
INIAP- ECU-218	INIAP- ECU-218	INIAP- ECU-218
INIAP- ECU-219	INIAP- ECU-219	INIAP- ECU-219
INIAP- ECU-220	INIAP- ECU-220	INIAP- ECU-220
INEN-ECU-223	INEN-ECU-223	INEN-ECU-223
INIAP- ECU-226	INIAP- ECU-226	INIAP- ECU-226
INIAP- ECU-227	INIAP- ECU-227	INIAP- ECU-227
INIAP- ECU-230	INIAP- ECU-230	INIAP- ECU-230
INIAP- ECU-231	INIAP- ECU-231	INIAP- ECU-231
INIAP- ECU-233	INIAP- ECU-233	INIAP- ECU-233
INIAP- ECU-237	INIAP- ECU-237	INIAP- ECU-237
INIAP- ECU-238	INIAP- ECU-238	INIAP- ECU-238
INIAP- ECU-240	INIAP- ECU-240	INIAP- ECU-240
INIAP- ECU-242	INIAP- ECU-242	INIAP- ECU-242
INIAP- ECU-243	INIAP- ECU-243	INIAP- ECU-243
INIAP- ECU-303	INIAP- ECU-303	INIAP- ECU-303
INIAP- ECU-304	INIAP- ECU-304	INIAP- ECU-304
INIAP- ECU-245	INIAP- ECU-245	INIAP- ECU-245
INIAP- ECU-247	INIAP- ECU-247	INIAP- ECU-247
INIAP- ECU-248	INIAP- ECU-248	INIAP- ECU-248
INIAP- ECU-249	INIAP- ECU-249	INIAP- ECU-249
INIAP- ECU-250	INIAP- ECU-250	INIAP- ECU-250
INIAP- ECU-27194	INIAP- ECU-27194	INIAP- ECU-27194
INIAP- ECU-27195	INIAP- ECU-27195	INIAP- ECU-27195
INIAP- ECU-27230	INIAP- ECU-27230	INIAP- ECU-27230
INIAP- ECU-27231	INIAP- ECU-27231	INIAP- ECU-27231
INIAP- ECU-27232	INIAP- ECU-27232	INIAP- ECU-27232
INIAP- ECU-27233	INIAP- ECU-27233	INIAP- ECU-27233
INIAP- ECU-27234	INIAP- ECU-27234	INIAP- ECU-27234
1 m	1 m	1 m
3m		

BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3
INIAP- ECU-498	INIAP- ECU-498	INIAP- ECU-498
INIAP- ECU-490	INIAP- ECU-490	INIAP- ECU-490
INIAP- ECU-314	INIAP- ECU-314	INIAP- ECU-314
INIAP- ECU-312	INIAP- ECU-312	INIAP- ECU-312
INIAP- ECU-299	INIAP- ECU-299	INIAP- ECU-299
INIAP- ECU-297	INIAP- ECU-297	INIAP- ECU-297
INIAP- ECU-296	INIAP- ECU-296	INIAP- ECU-296
INEN-ECU-292	INEN-ECU-292	INEN-ECU-292
INIAP- ECU-290	INIAP- ECU-290	INIAP- ECU-290
INIAP- ECU-283	INIAP- ECU-283	INIAP- ECU-283
INIAP- ECU-276	INIAP- ECU-276	INIAP- ECU-276
INIAP- ECU-275	INIAP- ECU-275	INIAP- ECU-275
INIAP- ECU-272	INIAP- ECU-272	INIAP- ECU-272
INIAP- ECU-269	INIAP- ECU-269	INIAP- ECU-269
INIAP- ECU-268	INIAP- ECU-268	INIAP- ECU-268
INIAP- ECU-267	INIAP- ECU-267	INIAP- ECU-267
INIAP- ECU-263	INIAP- ECU-263	INIAP- ECU-263
INIAP- ECU-262	INIAP- ECU-262	INIAP- ECU-262
INIAP- ECU-261	INIAP- ECU-261	INIAP- ECU-261
INIAP- ECU-260	INIAP- ECU-260	INIAP- ECU-260
INIAP- ECU-259	INIAP- ECU-259	INIAP- ECU-259
INIAP- ECU-258	INIAP- ECU-258	INIAP- ECU-258
INIAP- ECU-255	INIAP- ECU-255	INIAP- ECU-255
INIAP- ECU-253	INIAP- ECU-253	INIAP- ECU-253
INIAP- ECU-252	INIAP- ECU-252	INIAP- ECU-252
INIAP-ECU-27192	INIAP-ECU-27192	INIAP-ECU-27192
INIAP-ECU-27193	INIAP-ECU-27193	INIAP-ECU-27193
INIAP-ECU-27235	INIAP-ECU-27235	INIAP-ECU-27235
INIAP-ECU-27236	INIAP-ECU-27236	INIAP-ECU-27236
INIAP-ECU-27237	INIAP-ECU-27237	INIAP-ECU-27237
INIAP-ECU-27238	INIAP-ECU-27238	INIAP-ECU-27238
INIAP-ECU-27239	INIAP-ECU-27239	INIAP-ECU-27239
INIAP-ECU-27401	INIAP-ECU-27401	INIAP-ECU-27401
INIAP-ECU-27402	INIAP-ECU-27402	INIAP-ECU-27402
INIAP-ECU-27403	INIAP-ECU-27403	INIAP-ECU-27403
INIAP-ECU-27783	INIAP-ECU-27783	INIAP-ECU-27783
INIAP-ECU-27784	INIAP-ECU-27784	INIAP-ECU-27784
INIAP-ECU-27785	INIAP-ECU-27785	INIAP-ECU-27785
INIAP-ECU-27787	INIAP-ECU-27787	INIAP-ECU-27787
INIAP-ECU-27789	INIAP-ECU-27789	INIAP-ECU-27789
1 m	1 m	1 m
3m		

0.60

3.3.3 Características del experimento

El área total del experimento fue de 560 m^2, la cual se dividió en tres bloques, en los que se distribuyeron las 100 accesiones de quinua, con un total de 216 unidades experimentales, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Características del área experimental.

Datos	Medidas
Superficie total del ensayo	560 m^2
Bloques	3
Accesiones de quinua	72
Unidades experimentales	216
Plantas por accesión	10
Total de plantas	720

3.3.4 Características de la unidad experimental.

Cada unidad experimental tuvo una extensión de 0.6 m^2 (tabla 5). Entre cada unidad se sembró triticale (*Triticum aestivum* L.× *Secale cereale* L.) como barrera viva. Para la evaluación de las variables, se tomaron entre tres y cuatro plantas por unidad experimental, con un total de diez plantas por accesión.

Tabla 5

Características de la unidad experimental.

Datos	Medidas
Ancho de surcos	0.6 m
Largo de surcos	1 m
Área de la parcela neta	0.6 m^2
Camino principal (medio)	1.5 m
Cantidad de semillas por accesión	2.5 g/3 m lineales
Distancia entre surcos	0.6 m

3.3.5 Análisis estadístico

En el análisis estadístico se tomó en cuenta la tabla de ADEVA del Diseño de Bloques Completamente al Azar, y para el análisis de los datos tanto cualitativos como cuantitativos se utilizó el software InfoStat versión 2022. En este software se realizaron pruebas estadísticas descriptivas de la población, seguidas del análisis de los componentes principales, análisis de conglomerados y finalmente el análisis de varianza con la prueba LSD de Fisher al 5 % de significancia entre los conglomerados.

3.3.6. Variables evaluadas

En el presente trabajo se seleccionaron 30 descriptores tomados del manual de descriptores para quinua y sus parientes silvestres (Bioversity International et al., 2013), entre cuantitativos y cualitativos. Las variables se evaluaron desde la siembra hasta la etapa de poscosecha del cultivo. La evaluación de colores se realizó con la tabla de colores Royal Horticultural Society, edición 2018. De igual manera, se evaluó la severidad del ataque de plagas y enfermedades presentes en la colección de quinua.

A continuación, se presentan los descriptores cuantitativos evaluados en el presente estudio:

3.6.1.1 Días a la emergencia (Emg). Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas emergieron.

3.6.1.2 Días a la formación de botón floral (número) (DFB). Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas iniciaron la formación de botón floral.

3.6.1.3 Días hasta el inicio de la floración (número) (DIF). Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas iniciaron floración.

3.6.1.4 Días al final de floración (número) (DFF). Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 100 % de las plantas presentaran flores abiertas.

3.6.1.5 Días a la cosecha (número) (DIC). Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta el inicio de la cosecha.

3.6.1.6 Rendimiento de semillas por planta (g) (Rto). Se registró el peso promedio en gramos con una balanza electrónica de las semillas de cada unidad experimental por planta.

3.6.1.7 Peso de 100 semillas (g) (P100s). Se seleccionaron 3 muestras de 100 semillas por cada accesión y se registró su peso con una balanza electrónica.

3.6.1.8 Índice de cosecha (IC)(Número) (IdC). Se calculó por planta utilizando la siguiente fórmula: IC = PG/ (PB + PG); siendo PG = peso de grano y PB = peso de broza. Posteriormente, se obtuvo el promedio de las diez plantas por cada accesión.

3.6.1.9 Altura de la planta (cm) (Alt). Se midió una vez que la planta alcanzó la madurez fisiológica, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la panoja (Figura 5). Se

tomaron 3 a 4 plantas por unidad experimental con un total de diez plantas por accesión.

Figura 5

Medición de la altura de la planta con un flexómetro.



3.6.1.10 D10_DmtT-Diámetro del tallo principal (cm). Se midió una vez que la planta alcanzó la madurez fisiológica, en la parte media del tercio inferior de la planta. Se tomaron 3 a 4 plantas por unidad experimental con un total de diez plantas por accesión.

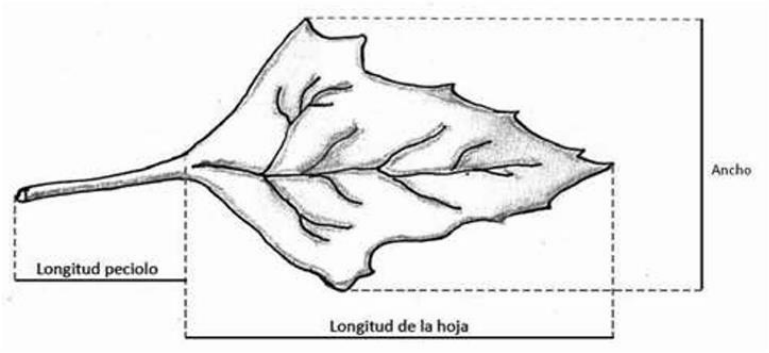
3.6.1.11 Longitud máxima de la hoja (cm) (LHj). Se midió a la madurez fisiológica, en una hoja por planta (tomada de la parte media del tallo) con ayuda de un pie de rey de acuerdo a la Figura 6. Se calculó el promedio de diez plantas por accesión.

3.6.1.12 Ancho máximo de la hoja (cm) (AnHj). Se midió a la madurez fisiológica, en una hoja por planta (tomada de la parte media del tallo) con ayuda de un pie de rey de acuerdo a la Figura 6. Se calculó el promedio de diez plantas por accesión.

3.6.1.13 Longitud del pecíolo (cm) (LPcl). Se midió a la madurez fisiológica, en una hoja por planta (tomada de la parte media del tallo), con ayuda de un pie de rey de acuerdo a la Figura 6. Se calculó el promedio de diez plantas por accesión.

Figura 6

Medidas de la hoja.

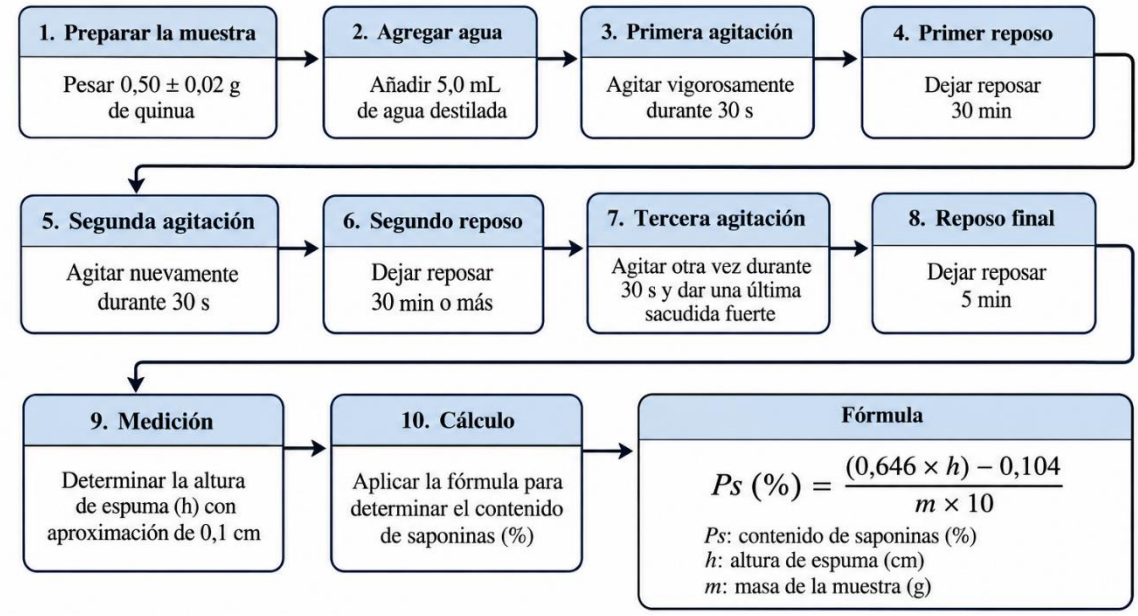


Fuente: Bioversity International et al. (2013).

3.6.1.14 Contenido de saponinas (%) (%Spn). Para tomar esta variable se realizó de acuerdo con lo establecido por la norma NTE INEN 1672, para la determinación del contenido de saponinas por el método de espuma de Koziol (Figura 7). Este método se basa en las propiedades tensoactivas de las saponinas, que al agitarse con agua generan una espuma, cuya altura puede correlacionarse con el contenido de saponinas en los granos (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013).

Figura 7

Flujograma del procedimiento para la determinación del contenido de saponinas en quinua mediante el método espumoso de Koziol.



Nota. Adaptado de la NTE INEN 1672 (INEN, 2013).

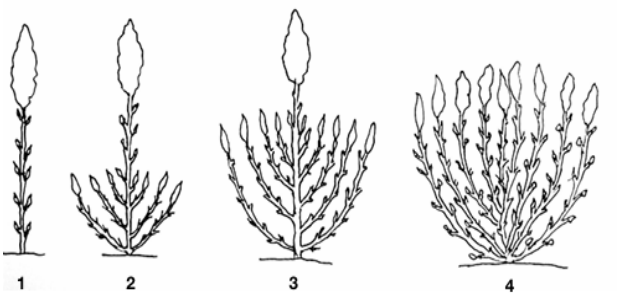
A continuación, se presentan los descriptores cualitativos evaluados en este estudio:

3.6.1.15 Hábito de crecimiento (HCr). Se observó una vez que la planta alcanzó

la madurez fisiológica. Se tomaron cinco plantas por accesión y se clasificó de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6

Hábitos de crecimiento identificados en quinua.

Clases	Descripción	Figura
1	Simple	
2	Ramificado hasta el tercio inferior	
3	Ramificado hasta el segundo tercio	
4	Ramificado con panoja principal no definida	

Fuente: Bioversity International et al. (2013).

3.6.1.16 Color del tallo principal (CT). Color predominante observado en la madurez fisiológica. Se tomaron cinco plantas por accesión y se clasificó de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7

Escala de color principal del tallo en quinua.

Escala	Nombre del color	Códigos
1	Amarillo claro	4C,6D, 1D, 3D,10D
2	Amarillo medio	11B, 12B, 2B,3C,4A,4B,6C, 7C,7D,8A, 8D,9C
3	Marrón amarillento medio	164C
4	Púrpura	61B,59C
5	Rojo púrpura medio	N57A, N66A, 63A, 53A, N57C, 63B
6	Rosa rojizo	53C,52B,51A,54C
7	Verde amarillento	151C,154D,1B,1C,2C,148D
8	Verde claro	N144D, 145D, 145C
9	Naranja amarillento medio	13C,11A
10	Verde amarillento claro-púrpura medio	154D-67A
11	Marrón anaranjado	169D
12	Rosa azulado claro	69D
99	Otro (especificar)	

Nota. Escala de color formada a partir de la tabla de colores Royal Horticultural Society (2018).

3.6.1.17 Presencia de ramificación (PRm). Se observó una vez que la planta alcanzó la madurez fisiológica. Se tomaron cinco plantas por accesión y se clasificó de acuerdo con: 0 ausentes y 1 presente.

3.6.1.18 Presencia de axilas pigmentadas (Paxp). Esta característica se observó en la intersección entre el tallo principal y las ramas primarias, en la etapa de floración de

la planta, y se clasificó según: 0 ausencia de axilas, 1 presencia de axilas y 2 no determinadas en el caso de plantas de tallo y ramas de color rojo, donde no se puede apreciar la presencia de axilas pigmentadas.

3.6.1.19 Presencia de estrías (PEts). Observado en el tallo principal de la planta en la etapa de floración, se clasificó como: 0 ausente y 1 presente**.**

3.6.1.20 Color de estrías (CEts). Observado en el tallo principal en la parte media del tercio medio de la planta en plena floración (Tabla 8).

Tabla 8

Escala de color de las estrías de quinua en floración.

Clases	Nombre del color	Códigos
1	Verde amarronado claro	147D
2	Verde amarronado medio	138B, 146C
3	Verde claro	139D,145B,145A,142C,145C,143D,142A, N144C,144B,138D,149C,138C,145D, N144A, N144D
4	Verde grisáceo medio	188C
5	Verde medio	134A, 143C, 140B
99	Otro	

Nota. Escala de color formada a partir de la tabla de colores Royal Horticultural Society (2018).

3.6.1.21 Forma de la hoja (FHj). Descripción de las hojas del tercio medio del tallo principal de la planta en plena floración. Se tomaron cinco plantas por accesión y se clasificaron de acuerdo con: 1 romboidal y 2 triangular.

3.6.1.22 Margen de la hoja (MrgHj). Descripción del margen de las hojas del tercio medio del tallo principal de la planta en plena floración. Se tomaron cinco plantas por accesión y se clasificaron como: 1 entero, 2 dentado, 3 aserrado.

3.6.1.23 Densidad de la panoja (DPnj). Observada a la madurez fisiológica, se clasificó de acuerdo con: 1 laxa, 2 intermedia y 3 compacta.

3.6.1.24 Color de la lámina foliar (CHj). Color predominante observado en la hoja en la madurez fisiológica. Se tomaron cinco plantas por accesión y se clasificaron de acuerdo con la Tabla 9.

Tabla 9

Escalas de color de la lámina foliar en quinua.

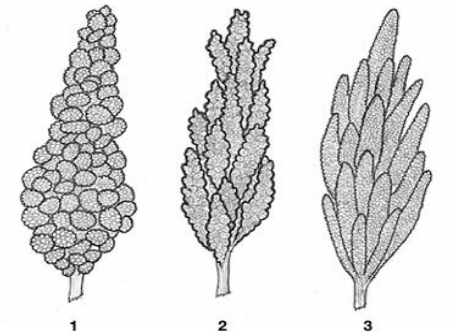
Clases	Nombre del color	Códigos
1	Verde amarronado	147B, 147D, 138B
2	Verde amarronado oscuro	146B,146A
3	Verde claro	143D,144B
4	Verde medio	143A, 143B
5	Verde oscuro	137A, 139A
6	Verde medio-púrpura medio	143A-67A
99	Otro	

Nota. Escala de color formada a partir de la tabla de colores Royal Horticultural Society (2018).

3.6.1.25 Forma de la panoja (FPnj). Descriptor observado a la madurez fisiológica; se clasificó de acuerdo con la Tabla 10.

Tabla 10

Escala de forma de la panoja en quinua.

Clases	Características	Representación gráfica
1	Glomerulada (glomérulos están insertos en los ejes glomerulares y presentan una forma globosa).	
2	Intermedia (apariencia de ambas formas).	
3	Amarantiforme (glomérulos están insertados directamente en el eje secundario y presentan una forma alargada).	

Fuente*:* Bioversity International et al. (2013).

3.6.1.26 Presencia de saponinas (PSpn). Para determinar la presencia de saponinas en las semillas de quinua se empleó el método de la espuma de acuerdo con lo establecido por la NTE INEN 1672 descrito anteriormente en la Figura 7 y se clasificó como: 0 ausentes (cuando no detectó formación de espuma) y 1 presentes (cuando se detectó formación de espuma).

3.6.1.27 Acame (%) (Acm). Se realizó una estimación visual del porcentaje de acame por accesión en la etapa de formación de grano y se clasificó de acuerdo con: 1 bajo (0-33 %), 2 medio (34-66 %) y 3 alto (67-100 %).

3.6.1.28 Color de la panoja en floración (CPnjF). Se observó el color de la panoja en plena floración y se clasificó de acuerdo con la Tabla 11. Se tomaron cinco plantas por accesión.

Tabla 11

Escala para el descriptor color de la panoja en floración de quinua.

Clases	Nombre del color	Códigos
1	Púrpura medio	71A, 71B,64A, N79B
3	Rosa azulado oscuro	70C, N57C
4	Verde amarronado claro	148D, 147D,138B
5	Verde claro	139D, 138D, 136D, 142D, 144D, 138C, 142C
6	Verde medio	141C
7	Verde oscuro	137A
8	Violeta-verde	84C-134C, 149C-51D, 138C-75C, 68D-143D, 84C,134B, 70C-136C, 70C-136D
9	Violeta claro	76C, N77C
10	Violeta oscuro-verde claro	149C-N77C, 138B-N78A, 138C-N77C
99	Otro	

Nota. Escala de color formada a partir de la tabla de colores Royal Horticultural Society (2018).

3.6.1.29 Color de la panoja en la madurez fisiológica (CPnjMF). Se observó a la madurez fisiológica y se clasificó de acuerdo con la Tabla 12.

Tabla 12

Escala de color de la panoja en la madurez fisiológica en quinua.

Clases	Nombre del color	Códigos
1	Amarillo medio	11B, 7B, 5B, 12B, 4A, 9C, 12A, 3C, 2B, 4C
2	Púrpura	N74B, 64A
3	Rojo púrpura medio	58B, N57C, N66B
4	Rojo medio	50A
5	Rosa azulado medio	55B
6	Rosa anaranjado medio	31D, 32D
7	Verde claro	149D, 145A, N144D
8	Verde medio	143C
9	Verde amarillento medio	154B, 154A, 151C, 1B, 154C,
10	Naranja amarillento medio	11A, 5B, 11A
11	Amarillo medio-rojo púrpura medio	9B-58C, 58B-6B, 6B-52B, 22A-72B, 11A-54B, 6B-54A, 21C-N57B, 54B-6C, 5A-51C, 11A-55A, 2B-68C, 12B-N66B, 8A-55A
12	Amarillo medio-rosa azulado oscuro	6A-N66C, 14C-59B, 3A-67B
13	Verde amarillento claro-rojo púrpura medio	1B-68A, 64A-144B, 2C-54B, 1C-54B, 154B-68D, 1B-54A
14	Púrpura oscuro-rojo medio	58A-50A, 61C-63D
15	Verde amarillento medio-marrón medio	1B-166C
16	Púrpura medio-verde amarronado medio	67A-147C
99	Otro	

Nota. Escala de color formada a partir de la tabla de colores Royal Horticultural Society (2018).

3.6.1.30 Color del pericarpio (CPrcp). Se observó el color del pericarpio y se

clasificó de acuerdo con la Tabla 13.

Tabla 13

Escala de color del pericarpio en granos de quinua.

Clases	Nombre del color	Códigos
1	Amarillo claro	8D, 11C,4D
2	Blanco	155D
3	Marrón amarillento claro	162D, 161D, 162A
4	Naranja amarillento claro	158A, 159C, 158B, 158D, 158C, 159D
5	Verde amarillento medio	150A, 154C
6	Naranja amarillento claro-púrpura oscuro	158C-58A, 159A-60A
7	Rosa azulado claro-naranja amarillento claro	55C-161D, 158C-55C, 56C-158A
99	Otro	

Nota. Escala de color formada a partir de la tabla de colores de la Royal Horticultural Society (2018).

3.6.1.31 Severidad del ataque de enfermedades. Se evaluaron los daños causados por enfermedades en el cultivo de quinua mediante el monitoreo directo en intervalos de 15 días, para lo cual se identificó la planta con la mayor afectación. Se clasificó de acuerdo con la escala de severidad de cada enfermedad como se describe en las Tablas 14 y 15.

Tabla 14

Escala visual de severidad del ataque de mildiu (Peronospora variabilis Gaum.*).*

Clases	Escala	Avances de la enfermedad
1	1-3	Primer tercio bajo de la planta (35 %)
2	4-6	Tercio medio de la planta (35 %)
3	7-9	Tercio superior de la planta (30 %)

Fuente*:* Romero (2018).

Tabla 15

Escala de severidad del ataque de pudrición de tallo en quinua.

Clases	Síntomas
0	Planta sana, sin afectaciones.
1	Planta con manchas asimétricas de color café claro a oscuro, estrías.
2	Zona de afectación abarca las dos terceras partes de la parte basal de la planta, rigidez del tallo afectado.
3	La afectación comprende la totalidad de la zona basal, la planta sede y muere.

Nota. Escala adaptada de Mangwende et al. (2025).

3.4 Manejo específico del experimento

El manejo del experimento se realizó de manera convencional, con la aplicación de fertilizantes químicos (foliares y edáficos) y agroquímicos para el control de plagas y enfermedades. Adicionalmente, se realizó la aplicación de fertilizantes orgánicos: compost y un fertilizante edáfico a base de extractos de algas.

3.4.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó de forma mecanizada, tanto el arado como la rastra. Posteriormente, se hizo el trazado de la parcela y el surcado con un motocultor, con un ancho de 0.60 m por surco.

3.4.2 Delimitación de área experimental

Una vez surcado el terreno, se delimitó el área con piola y estacas para dividir cada bloque y el camino central. Luego se realizó la distribución de las accesiones de acuerdo al croquis, alternando la quinua con el triticale que se usó como barrera viva.

3.4.3 Siembra

La siembra se realizó de forma manual a chorro continuo, con una densidad de 2.5 g de semilla en tres metros lineales (Figura 8). Esta actividad se llevó a cabo con la colaboración de personal de INIAP. De igual forma, se sembró el triticale como barrera viva entre los surcos de las accesiones.

Figura 8

Siembra manual de quinua a chorro continúo.



Cabe mencionar que el experimento se dividió en dos secciones, siendo la segunda con 50 accesiones, sembrada 51 días después que la primera (con 22 accesiones), esto a causa de problemas de viabilidad que presentaron las semillas de quinua debido al largo periodo de conservación. Ambas secciones tuvieron el mismo manejo, tanto de labores culturales como de fertilización, riego y control fitosanitario.

3.4.4 Labores culturales

3.4.4.1 Raleo. El raleo se realizó de forma manual a los 33 días posteriores a la siembra. Se eliminaron las plantas pequeñas y enfermas para tener una adecuada densidad de siembra.

3.4.4.2 Deshierbes y aporques. Las labores agronómicas se realizaron de manera uniforme para todas las accesiones. El deshierbe se realizó previo a la aplicación de fertilizantes con ayuda de azadones y de forma manual cerca de las plantas a los 32 y a los 72 días (Figura 9).

Figura 9

Deshierbe manual de la quinua previo a la fertilización y aporque.



3.4.4.3 Riego. Se realizó el riego dos veces por semana, hasta alcanzar la etapa de floración. Se implementó un riego por aspersión.

3.4.5 Control fitosanitario

Mediante monitoreos directos en el cultivo se identificaron enfermedades como la pudrición de tallo en la etapa postemergencia y mildiu velloso en la etapa vegetativa. Para el control de estas enfermedades se aplicaron fungicidas sintéticos (Tabla 16); en el caso del control de pudrición del tallo se optó por un producto a base de sulfato de cobre pentahidratado, mientras que, para el control de mildiu velloso se rotaron fungicidas a

base de Pyraclostrobin y Difenoconazole. Por otro lado, la principal plaga identificada en el cultivo fue el trips, para el control del cual se aplicaron alternadamente insecticidas a base de Fipronil+Imidacloprid, Lambdacialotrina+tiametoxam y Spinetoram.

Tabla 16

Insecticidas y fungicidas utilizados en el cultivo de quinua.

Fungicida/Insecticida (Ingrediente activo)	Dosis (cc/ L)	Plaga/ Enfermedad	Etapa de aplicación/ frecuencia
Sulfato de cobre pentahidratado	1.5	Pudrición de tallo	Se aplicó en la etapa postemergencia, a partir de los 12 días después de la siembra. Se realizaron tres aplicaciones cada 8 días.
Pyraclostrobin	0.5	Mildiu velloso	Se aplicó a partir de la etapa de desarrollo vegetativo hasta finalizada la etapa de floración, cada 8 días. Se identificó que dosis altas de 1.5 cc/L causaron problemas por fitotoxicidad en algunas accesiones.
Difenoconazole	0.5	Mildiu velloso	Se aplicó en la etapa de desarrollo vegetativo hasta el final de la floración, cada 8 días. Se rotó con fungicida mencionado anteriormente.
Fipronil+ Imidacloprid	1	Insecticida preventivo	Se aplicó en las primeras etapas de desarrollo vegetativo, como preventivo.
Lambdacialotrina+tiametoxam	1	Insecticida preventivo	Se aplicó en las primeras etapas de desarrollo vegetativo, como preventivo.
Spinetoram	0.5	Trips	Se aplicó como control a partir de la etapa de desarrollo vegetativo hasta finalizada la etapa de floración, cada 8 días.

3.4.6 Fertilización

La fertilización se realizó a los 32 y a los 72 días después de la siembra (Tabla 17); se aplicaron fertilizantes químicos (urea y triple 16) acompañados de compost. También durante la etapa de desarrollo vegetativo, se empleó un fertilizante orgánico a base de extracto de algas en drench. Adicionalmente, en la etapa de floración se aplicaron fertilizantes foliares, con la finalidad de garantizar una buena nutrición de la planta.

Tabla 17

Fertilizantes edáficos y foliares empleados en el manejo del experimento.

Fertilizante	Composición	Dosis	Tipo de aplicación	Etapa de aplicación/ frecuencia
F1	Extracto de algas marinas; materia orgánica 17.5 %; óxido de potasio 5 % p/p; nitrógeno 2 % p/p; aminoácidos 6.2 % p/p	10 cc/L	Drench	Desarrollo vegetativo, 3 aplicaciones cada 20 días.
F2	N 16 %; K 16 %; P 16 %	30 g/m lineal	Edáfica	Desarrollo vegetativo, inicio de floración. A los 32 y 72 días después de la siembra.
F3	Materia orgánica	600 g/m lineal	Edáfica	Desarrollo vegetativo, inicio de floración. A los 32 y 72 días después de la siembra.
F4	N 46 %	20 g/m lineal	Edáfica	Desarrollo vegetativo, inicio de floración. A los 32 y 72 días después de la siembra.
F5	N 6.6 % p/p; P17.63 % p/p; K 14.95 % p/p; B 0.023 % p/p; Cu 0.01 % p/p; Mn 0.0174 % p/p; Ácidos húmicos 19.89 % p/p	5 cc/L	Foliar	Una aplicación al inicio de la floración.
F6	Oligosacáridos 0.1 %; Dextrosa 79.99 %; Maltodextrina 19.99 %; Colorante vegetal 0.01 %	0.1 g/L	Foliar	Una aplicación al inicio de la floración, 8 días después de aplicar Green Master.

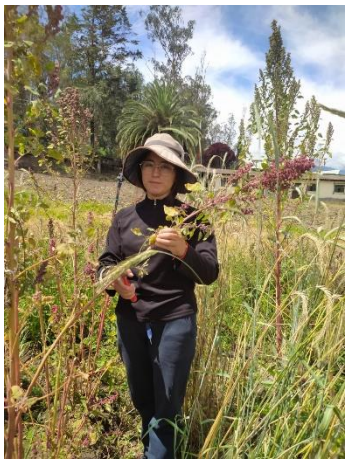
3.4.7 Cosecha

La cosecha se realizó una vez que la quinua alcanzó la madurez fisiológica, a partir de los 110 días después de la siembra, en el caso de las accesiones más precoces y de los 192

días en el caso de las accesiones más tardías. Para la cosecha se cortaron de forma manual las panojas con ayuda de una navaja, se etiquetó cada planta y se agruparon por accesión para pasar al proceso de secado (Figura 10).

Figura 10

Cosecha manual de la quinua en la etapa de madurez fisiológica.



3.4.8 Secado y trillado

Una vez cosechadas las panojas, se colocaron dentro de un invernadero en estantes para el proceso de secado, con la finalidad de bajar el porcentaje de humedad de las semillas. Este proceso tomó entre tres y cinco días dependiendo del clima, luego del cual se procedió con la trilla manual (Figura 11).

Figura 11

Secado de las panojas bajo invernadero.



3.4.9 Limpieza de semillas y almacenamiento

Finalmente, se limpiaron las semillas eliminando el jipi (residuo que se obtiene al trillar el grano de quinua), esto con ayuda de tamices. Las semillas se separaron por planta y se

colocaron en fundas de papel con su respectiva identificación, para ser almacenadas en el laboratorio de conservación de semillas (Figura 12).

Figura 12

Limpieza manual de las semillas de quinua usando tamices y almacenado en fundas de papel.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio inició con 100 accesiones de quinua, de las cuales, por problemas de viabilidad de las semillas en materiales colectados hace más de 30 años (1989), que no germinaron en campo, se terminó trabajando con 72 materiales. Una vez se caracterizó la variabilidad morfoagronómica empleando 30 descriptores entre cualitativos y cuantitativos, se entregó las semillas al Banco Nacional de Germoplasma del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos para su conservación.

4.1 Análisis poblacional de la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP

La población se analizó a través de parámetros estadísticos como medidas de resumen, donde se identificaron los valores máximos, mínimos, medias, así como el coeficiente de variación (CV) para los descriptores cuantitativos. Mientras que los descriptores cualitativos se evaluaron por medio de tablas de frecuencias.

4.1.1 Análisis de los descriptores fenológicos en la colección de quinua evaluados en Chaltura-Imbabura

En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos del análisis poblacional de las 72 accesiones de quinua con respecto a las variables relacionadas con la fenología del cultivo. En general, para este grupo de caracteres se identificaron bajos coeficientes de variación entre 7 y 18 %. Los niveles de variabilidad más altos se encontraron en los días a la formación del botón floral con un CV=17.95 %, un mínimo de 47 días (ECU-27789 y ECU-27401) y un máximo de 91 días (ECU-217). Esta variabilidad coincide con la presentada por los días de inicio de floración (CV=13.25 %), en la que las accesiones precoces empezaron esta etapa a los 65 días después de la siembra, mientras que las accesiones tardías alcanzaron dicha etapa a los 114 días.

De igual manera, se presentó una variación alta en lo que respecta a los días al inicio de la cosecha (Tabla 18) (CV=13.17 %); con accesiones que alcanzaron la madurez fisiológica entre los 110 y 122 días las más precoces (ECU-242, ECU-303, ECU-245, ECU-237, ECU-296, ECU-243, ECU-304, ECU-272) y los 192 días las más tardías (ECU-498) (Tabla 18). Mientras que el 44 % de las accesiones se clasifican como

semiprecoces y el 43 % pertenece a materiales semitardíos. Esta clasificación se realizó de acuerdo con Delgado et al. (2009), basados en criterios establecidos por Wahli (1990) para la clasificación de los materiales de quinua por su madurez fisiológica; se agrupan en: precoces (<130 días), semiprecoces (130–150 días), semitardíos (150–180 días) y tardíos (>180 días).

Por otro lado, en contraste con evaluaciones de caracterización de accesiones nativas de quinua en Ecuador, los valores promedios registrados para estos caracteres (de 79 a 121 días para la floración y de 150 a 211 días para la cosecha) son mayores que los encontrados en el presente estudio (Ochoa y Peralta, 1988; Ilbay, 2020). Asimismo, variedades comerciales como la variedad INIAP Tunkahuan presentan un rango de días a la floración entre 90 y 130 días y para la cosecha entre 150 días, mientras que la variedad INIAP Pata de Venado reporta entre 68 y 74 días a la floración y entre 130 y 160 días a la cosecha (Peralta et al., 2013).

Manjarrés et al. (2021) indican que el amplio rango presentado entre las diferentes etapas fenológicas del cultivo se debe principalmente a la diversidad genética; además, estos caracteres son cruciales para la selección, ya que determinan la precocidad del genotipo. La variabilidad en los rasgos fenológicos presenta un alto potencial, desde el punto de vista de programas de fitomejoramiento, puesto que permite hacer frente a limitaciones abióticas (heladas o sequía) que son factores altamente limitantes en explotaciones agrícolas (Curti et al., 2012).

Tabla 18

Medidas resumen de la variabilidad fenológica encontrada en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.

Variable	Código	Media	CV (%)	Mín	Máx
Días a la emergencia	DEmg	6.47	7.15	6.00	7.00
Días a la formación de botón floral	DFB	57.21	17.96	47.00	91.00
Días al inicio de floración	DIF	80.61	13.25	65.00	114.00
Días al final de floración	DFF	105.35	8.56	84.00	129.00
Días al inicio de cosecha	DIC	147.14	13.17	110.00	192.00

4.1.2 Análisis de los descriptores morfológicos en la colección de quinua evaluados en Chaltura-Imbabura

En el análisis poblacional de la morfología de las plantas se identificó una alta variabilidad en los descriptores evaluados (Tabla 19). En lo que concierne a características de la hoja (longitud, ancho y longitud del pecíolo), estas presentan

coeficientes de variación entre 18 y 22 %, siendo las accesiones ECU-27232 y ECU-27239 las que presentaron hojas más grandes, de aproximadamente 11 cm, mientras que la accesión ECU-297 registró hojas pequeñas con un promedio de 4.9 cm de longitud.

Por otro lado, respecto a la altura de la planta y el diámetro del tallo principal, una vez más destaca la accesión ECU-27232 con plantas de 227.70 cm y tallos con un grosor de 1.74 cm. Mientras que la accesión ECU-303 se caracterizó por ser de plantas más bajas con 91.30 cm de altura y con tallos con 0.88 cm de diámetro. De igual manera, es importante resaltar la accesión ECU-223 que, si bien presentó las plantas más altas de 243.70 cm en promedio, sus tallos fueron de apenas 1.46 cm de diámetro (Tabla 19). Gómez y Aguilar (2016), en su guía técnica del cultivo de quinua elaborada en conjunto con la FAO y la Universidad Agraria Nacional La Molina, mencionan que la altura adecuada está entre 1 y 1.20 m, ya que facilita la aplicación de prácticas culturales y el proceso de cosecha. En este rango se encuentran las accesiones: ECU-292, ECU-303, ECU-247, ECU-275 y ECU-245.

Delgado (2022), en su estudio de caracterización de accesiones colectadas en la zona centro norte del país (Chimborazo, Cotopaxi e Imbabura), reporta plantas más bajas de 151 cm de altura en promedio, con tallos ligeramente más delgados de 1.19 cm. De igual manera, las hojas identificadas en su trabajo son más pequeñas (con anchos de 4.05 cm, longitudes de 5.67 cm y longitud de peciolos de 3.05 cm en promedio) en comparación con los resultados de la presente investigación cabe recalcar que dentro del perfil nutricional, de aminoácidos, fitoquímico y la capacidad antioxidante presente en las hojas de quinua, estas ofrecen un potencial interesante para la nutrición y alimentación directa y como materia prima para la industria (Villacrés et al., 2014).

Estrada et al. (2020) afirman que el ambiente tiene una alta influencia en la expresión fenotípica de los genotipos de quinua. Asimismo, la altura de las plantas depende de características genéticas propias de cada variedad que determinan el crecimiento de la planta y promueven una mayor eficiencia en la captación de la radiación solar, nutrientes y agua. Por su parte, Quispe (2021) señala que la estructura y constitución de la planta son muy relevantes, ya que los rasgos que se traducen determinan rendimiento alto o bajo, dependiendo del caso. Además, una planta bien formada tendrá menos posibilidades de ser atacada por factores bióticos (como insectos, enfermedades o aves) y abióticos (como el viento, las heladas y otras condiciones desfavorables que pueden ocasionar que las plantas se acamen).

Tabla 19

Medidas resumen de la variabilidad morfológica identificada en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.

Variable	Media	CV (%)	Mín	Máx
Altura de la planta (cm)	170.73	20.52	91.30	243.70
Diámetro del tallo principal (cm)	1.28	20.92	0.76	1.92
Longitud máxima de la hoja (cm)	8.16	19.37	4.90	11.50
Ancho máximo de la hoja (cm)	7.47	22.51	3,85	10.28
Longitud del peciolo (cm)	5.70	18.42	3.56	8.01

4.1.3 Análisis de los descriptores de rendimiento y calidad de grano en la colección de quinua evaluada en Chaltura-Imbabura

En relación con el rendimiento por planta y el índice de cosecha se observan altos niveles de variabilidad, con coeficientes de variación de 63.62 % y 25.92 % respectivamente (Tabla 20). Estos caracteres son altamente discriminantes para la identificación de materiales de mayor productividad.

En este caso, las accesiones con mayor rendimiento de semilla por planta fueron: ECU-27195 (73.93 g/planta), ECU-27401 (69.27 g/planta) y ECU-27789 (64.42 g/planta). Siendo la accesión ECU-27789 la que presentó el mayor rendimiento de semilla con respecto al peso de la broza, con un índice de cosecha de 0.70. Mientras que accesiones como la ECU-490, ECU-498, ECU-226, ECU-223, ECU-214, ECU-219, ECU-292, ECU-303, ECU-312 registraron rendimientos menores a 10 g de semilla/planta. De dichas accesiones, la ECU-490 y la ECU-498 presentaron índices de cosecha menores al 20 %. Por otro lado, a pesar de que la accesión ECU-312 tiene un rendimiento de grano de 5.67 g/planta, su índice de cosecha fue de 0.50, lo que indica que el 50 % de la panoja corresponde a grano y el resto a broza (Tabla 20).

En comparación con estudios previos de caracterización de quinua en Ecuador, se reportan los siguientes rendimientos por planta: Delgado (2022) registró rendimientos de entre 13 y 23 gramos para accesiones de la zona centro del país (Chimborazo, Cotopaxi e Imbabura). Mientras que Sanchéz (2020), en colectas realizadas en Tungurahua y Chimborazo, reportó rendimientos de 8 a 131 gramos. Asimismo, Ilbay (2020) informa que en 240 ecotipos de quinua tipo Chimborazo de panoja roja los rendimientos se encuentran en un rango de 0.6 a 11.9 gramos. Por otro lado, Murillo et al. (2002) en su

evaluación de accesiones provenientes del Banco de Germoplasma del INIAP evidencian rendimientos de 0.21 a 133 gramos.

Según Thiam (2021), el rendimiento de la quinua está determinado por la interacción entre el genotipo, las condiciones ambientales y el manejo del cultivo, incluyendo factores como clima, suelo y prácticas agronómicas, los cuales influyen significativamente en la productividad del cultivo. Los genotipos de ciclo tardío son más sensibles a esta interacción, puesto que permanecen más tiempo en campo; además, suelen presentar mayores requerimientos hídricos y nutricionales. Asimismo, presentan una mayor sensibilidad al estrés terminal cuando el manejo agronómico es deficiente (Nguyen et al., 2024). Esto explicaría los bajos rendimientos reportados en el estudio, especialmente para las accesiones tardías como ECU-490 y ECU-498.

Dentro de la población, al analizar el peso de 100 semillas se identificó una variabilidad alta (CV=19.37 %), con un mínimo de 0.11 g (ECU-227), tratándose de semillas pequeñas, y un máximo de 0.30 g (ECU-27192) en el caso de las semillas grandes (Tabla 20). En contraste, un estudio realizado por Murillo et al. (2002) en el que se evaluaron 479 entradas de quinua del Banco de germoplasma del INIAP en Cotopaxi, con accesiones diferentes a las del presente estudio, reportó semillas más pesadas en un rango de 0.2 a 0.7 g con un promedio de 0.49 g. Este carácter es un parámetro que permite evaluar la calidad física de los granos, relacionando el tamaño, llenado e integridad de los mismos (Thiam, 2021). Por lo cual, es altamente discriminante en la selección de materiales para programas de fitomejoramiento.

Por otro lado, en cuanto al contenido de saponinas determinado por el método afrosimétrico, se identificó que el 42.1 % de los materiales evaluados se clasifican como dulces por presentar porcentajes de saponina menores al 0.11 % (ECU-498, ECU-223, ECU-27403, ECU-230, ECU-269, ECU-217, ECU-297, ECU-27236, ECU-27283, ECU-233, ECU-220, ECU-27785, ECU-299, ECU-27735, ECU-227, ECU-238, ECU-27232, ECU-248, ECU-27239, ECU-292, ECU-247, ECU-261, ECU-253, ECU-303, ECU-27193, ECU-260, ECU-283, ECU-296, ECU-249, ECU-245, y ECU-314). Mientras que el 56.9 % de los genotipos estudiados se clasifican como quinuas amargas, en este grupo destaca la accesión ECU-252 que presentó el mayor contenido de saponinas con alrededor de 0.92 % (Tabla 20). En contraste, Delgado (2022), en su trabajo de investigación sobre accesiones de quinua nativas colectadas en la zona centro norte del país, reporta que el 82.1 % tienen la característica de ser dulces, por su bajo o nulo contenido de saponinas.

La presencia de saponinas tiende a ser perjudicial para procesos de industrialización o consumo directo; la norma NTE INEN 1672 establece que las quinuas deben tener contenidos de saponinas menores al 0.12 % (INEN, 2013). Mientras que la quinua amarga para su consumo debe someterse a un proceso de desaponificación para eliminar el amargor de los granos, que consiste en la eliminación de la capa delgada que se encuentra en el exterior del grano mediante un lavado y enjuague constantes (Mestanza et al., 2023).

Tabla 20

Medidas resumen para variables relacionadas con el rendimiento y la calidad del grano en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.

Variable	Media	CV (%)	Mín	Máx
Peso de 100 semillas (g)	0.21	19.37	0.11	0.30
Rendimiento de semillas por planta (g)	21.25	63.62	2.97	73.93
Índice de cosecha (IC)(Número)	0.43	25.92	0.18	0,70
Contenido de saponinas (%)	0.22	90.47	0.01	0.92

4.2 Descripción de los caracteres morfológicos cualitativos de la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP

El análisis de los caracteres cualitativos registrados de las 72 accesiones de quinua permitió obtener las frecuencias totales para cada descriptor. De forma global, se observa una variabilidad importante para dichos caracteres que fueron polimórficos dentro de la colección. Por otro lado, es importante destacar que el 100 % de la colección presentó uniformidad en cuanto a la presencia de estrías; sin embargo, sí existió variabilidad en el color de las mismas.

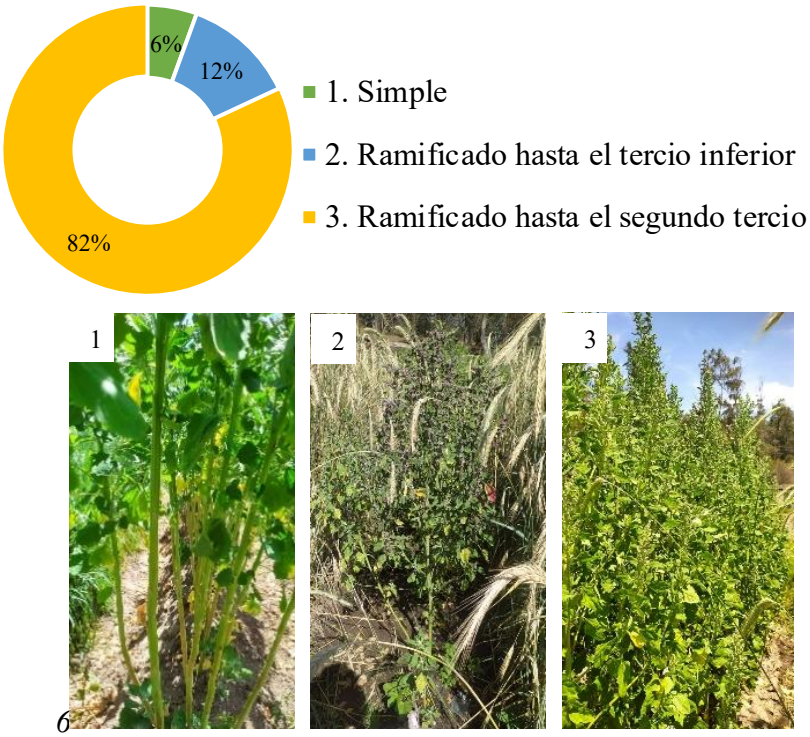
4.2.1 Hábito de crecimiento

Con respecto a esta variable (Figura 13), en el presente estudio se identificó que el 82 % de las accesiones se caracterizaron por presentar ramificaciones hasta el tercio medio de la planta, el 12 % con ramificaciones hasta el tercio inferior, el 6 % de la colección fueron plantas sin la presencia de ramificaciones marcadas y no se identificaron plantas ramificadas con panoja principal no definida. Cabe resaltar que la accesión ECU-27789 de hábito de crecimiento simple registró un rendimiento por planta de 64.42 g de semilla, en comparación con la ECU-27234 de hábito de crecimiento ramificado hasta el tercio inferior, que alcanzó un rendimiento por planta de 36.63 g, siendo el valor más alto dentro de este grupo. Lo que sugiere que, dentro de la colección, la accesión ECU-27789 de

estructura simple se adaptó mejor a las condiciones de la zona y logró una mayor productividad.

Figura 13

Porcentajes y categorías de hábitos de crecimiento identificados en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.



6

De acuerdo con Guerrón (2016), la arquitectura de la quinua está relacionada directamente con la densidad de siembra. Además, plantas de hábito de crecimiento ramificado hasta el segundo tercio normalmente alcanzan altos rendimientos. Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo donde ciertas accesiones (ECU-27787, ECU-27194, ECU-27401 y ECU-27195) de hábito de crecimiento hasta el segundo tercio alcanzaron rendimientos mayores a 39 gramos de semilla por planta.

4.2.2 Color del tallo principal

En referencia a la variabilidad de colores del tallo identificados en la madurez fisiológica (Figura 14), se puede destacar que el 30 % de la población mostró un color amarillo medio, seguido del verde amarillento con el 24 % de presencia. El resto de los colores tiene una frecuencia menor al 11 %. Estos resultados concuerdan con los reportados por Delgado (2022), quien registró que el 59.9 % de accesiones de quinuas nativas de la zona centro norte del país presentaron un color amarillo en el tallo principal. Gómez y Aguilar

(2016) indican que los colores del tallo son muy variados, y que la combinación con el color de las estrías y el color de las axilas puede ser empleada para identificar variedades.

Figura 14

Porcentajes y categorías de color del tallo identificados en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



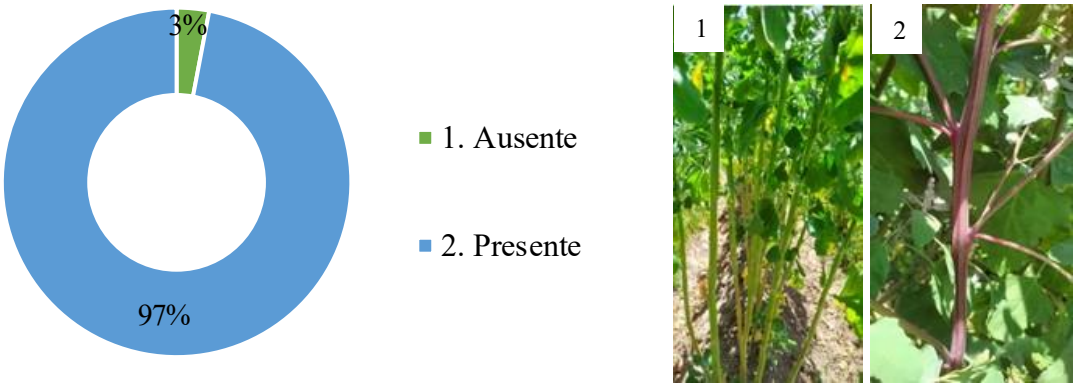
Nota. 1. Amarillo claro, 2. Amarillo medio, 3. Marrón amarillento medio, 4. Púrpura, 5. Rojo púrpura medio, 6. Rosa rojizo, 7. Verde amarillento, 8. Verde claro, 9. Naranja amarillento. 10. Verde amarillento claro y púrpura medio, 11. Marrón anaranjado, 12. Rosa azulado claro.

4.2.3 Presencia de ramificación

En lo que respecta a la presencia de ramificaciones (Figura 15), únicamente las accesiones ECU-27789 y ECU-218 no muestran esta característica, en tanto que el 97 % de la población sí la evidencia. Por el contrario, Delgado (2022), en su trabajo sobre variabilidad morfoagronómica de quinuas nativas, reportó un 95.65 % de genotipos de hábito de crecimiento simple. Esta diferencia puede deberse a que este carácter depende del genotipo y está altamente influido por factores relacionados con el manejo del cultivo, como densidad de siembra, fertilización, entre otros (Gómez y Aguilar, 2016).

Figura 15

Categorías y frecuencias de la presencia de ramificaciones identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.



4.2.4 Presencia de axilas pigmentadas

En la mayor parte de la población (57 %), se registró la presencia de axilas pigmentadas, mientras que en el 17 % no se evidenció este carácter y en el 26 % de las accesiones no se pudo determinar, puesto que estas presentaban tallos y ramificaciones de colores similares a los de las axilas pigmentadas (Figura 16). En contraste, Ilbay (2020) reporta que el 68 % de los ecotipos nativos de quinua tipo Chimborazo no muestran axilas pigmentadas. La pigmentación de axilas puede estar asociada principalmente a diferencias genéticas que regulan la expresión y distribución de pigmentos tales como las betalaínas en los tejidos de la planta (Hussain et al., 2021; Stanschewski et al., 2021).

Figura 16

Porcentajes y categorías de la presencia de axilas pigmentadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP.



Nota. * Plantas de tallo y ramas de color rojo, donde no se puede apreciar la presencia de axilas pigmentadas.

4.2.5 Color de estrías

En la Figura 17, se muestran los colores de las estrías observados en la población, si bien todos son verdes, varían en su tonalidad entre claros, medios, amarronados y grisáceos. En este caso, el 78 % del conjunto evaluado exhibió un color de estrías verde claro, mientras que el tono menos común para este carácter fue el verde grisáceo medio de la accesión ECU-292. Estos resultados coinciden con los resultados reportados por Ilbay (2020), quien menciona que los 147 ecotipos que evaluó evidencian estrías de color verde.

Figura 17

Porcentajes y categorías de color de estrías identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



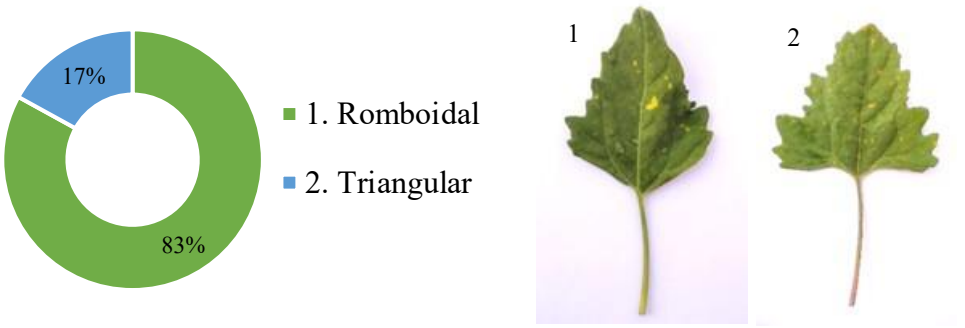
Nota. 1. Verde amarronado claro, 2. Verde amarronado medio, 3. Verde claro, 4. Verde grisáceo medio, 5. Verde medio

4.2.6 Forma de la hoja

Se identificaron dos tipos de hojas (romboidales y triangulares) (Figura 18). La forma romboidal predominó en el 83 % del material estudiado. Por el contrario, Delgado (2022), en su evaluación de accesiones nativas colectadas en Chimborazo, Cotopaxi e Imbabura, reporta un mayor número de materiales con hojas de forma triangular (53 %). La variabilidad de este carácter está relacionada con factores genéticos, ambientales y fisiológicos tales como el estrés hídrico que influye en el crecimiento y desarrollo foliar, lo que permite la adaptación de la planta a diferentes condiciones ecológicas (Zurita et al., 2015). Por otro lado, cabe mencionar que este carácter puede ser polimórfico en la misma planta, ya que generalmente en la parte basal las hojas son grandes y triangulares o romboidales y en la parte apical son pequeñas y lanceoladas (Hussain et al., 2021).

Figura 18

Porcentaje y categorías de la forma de la hoja identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



4.2.7 Margen de la hoja

En lo referente al margen de la hoja (Figura 19), dentro de los genotipos evaluados se identificaron tres categorías: entero, dentado y aserrado. El 99 % de los materiales evaluados corresponden a accesiones con hojas de margen aserrado (53 %) y dentado (46 %), mientras que únicamente el 1 % presentó hojas de margen entero (ECU-27192). Estos resultados coinciden con los reportados por Castro et al. (2023), quienes mencionan que en quinuas nativas tipo Chimborazo el margen dentado en las hojas es predominante (66 %), sobre hojas de margen entero (34 %). Estos resultados sugieren que los márgenes dentados y aserrados tienden a ser predominantes, mientras que el margen entero es una característica poco frecuente.

Figura 19

Porcentaje y categorías del margen de la hoja identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



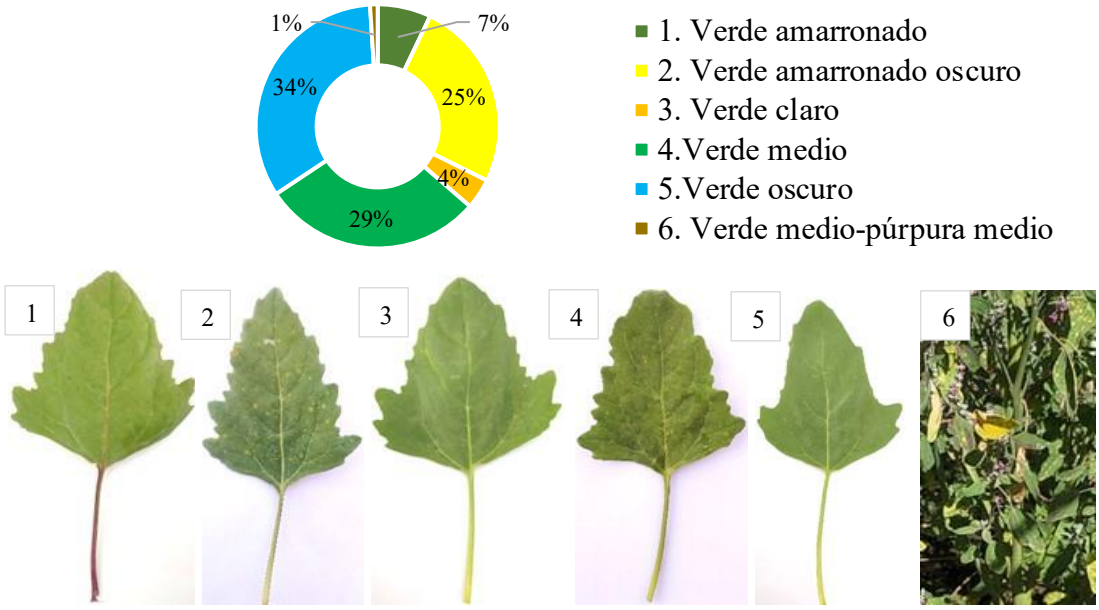
4.2.8 Color de la lámina foliar

Como se muestra en la Figura 20, para el color de la lámina foliar se distinguen seis categorías generalmente en tonos verdes. El color verde oscuro está presente en el 34 % de las accesiones, seguido del 29 % correspondiente al tono verde medio y del 25 % al verde amarronado oscuro. El resto de los colores se encuentran en frecuencias menores

al 10 %. Se destaca que, al igual que con el color del tallo, la accesión ECU-275 presenta hojas variegadas de color verde con pintas púrpuras. Zhang et al. (2026) indican que la variegación es causada por una pigmentación diferencial en la capa de las células epidérmicas de la vejiga (EBCs); estas diferencias de color surgen por la acumulación diferencial de betacianinas.

Figura 20

Porcentajes y categorías del color de la lámina foliar identificados en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



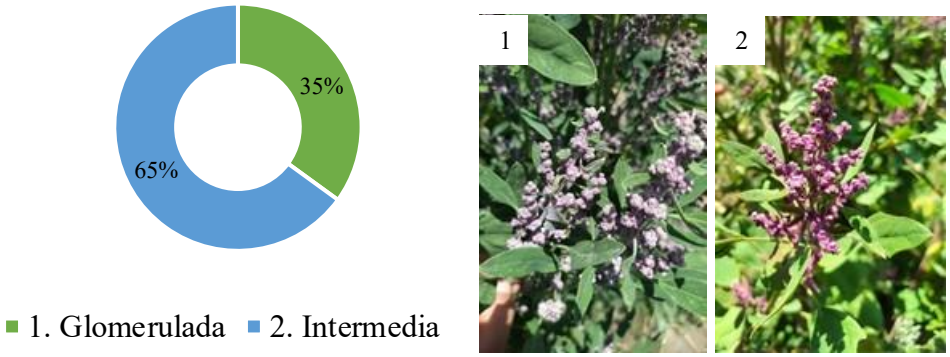
Nota. 1. Verde amarronado, 2. Verde amarronado oscuro, 3. Verde claro, 4. Verde medio, 5. Verde oscuro, 6. Verde medio y púrpura medio.

4.2.9 Forma de la panoja

En la Figura 21, se observa que el 35 % del germoplasma en estudio se caracteriza por presentar panojas glomeruladas (1), mientras que el 65 % presenta una estructura intermedia (2). Estos resultados coinciden con los reportados por Ilbay (2020) en quinuas nativas tipo Chimborazo, quien registró en mayor frecuencia panojas de forma intermedia (47 %), seguido por la forma glomerulada (27 %). De acuerdo con Mujica et al. (2001), la forma intermedia de la panoja presenta características de transición entre la forma amarantiforme y glomerulada, siendo la inflorescencia de tipo glomerulada la forma primitiva común entre variedades nativas, mientras que las variedades comerciales tienden a presentar una forma amarantiforme.

Figura 21

Porcentajes y categoría de la forma de la panoja identificada en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.

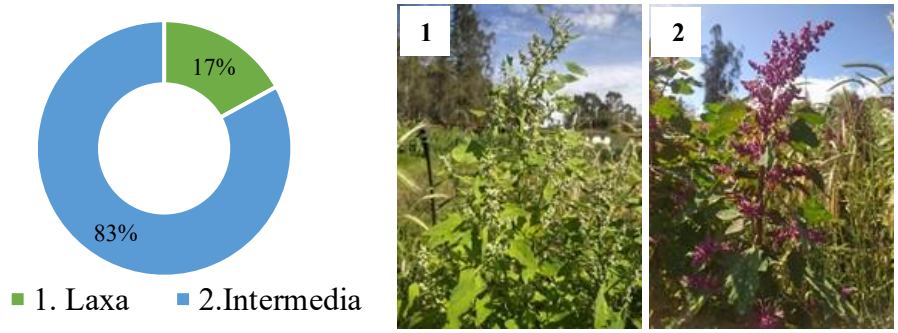


4.2.10 Densidad de la panoja

De las 72 accesiones analizadas (Figura 22), 12 muestran una densidad de panoja laxa (17 %), distinguiéndose una panoja extendida (1). Mientras que el restante 83 % presentó una densidad intermedia, con ramificaciones y pedicelos medianamente cortos (2). Esto coincide con lo reportado por Delgado (2022) en quinua nativas de la zona centro-norte del país, quien registró una mayor frecuencia de panojas de densidad intermedia (56 %), seguido de panojas laxas con un 27 % de frecuencia, y además identificó panojas de estructura compacta (17 %). La densidad de la panoja constituye un carácter de importancia agronómica, ya que influye en la disposición de las flores y en el potencial de formación de granos.

Figura 22

Categorías y frecuencias de la densidad de la panoja identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



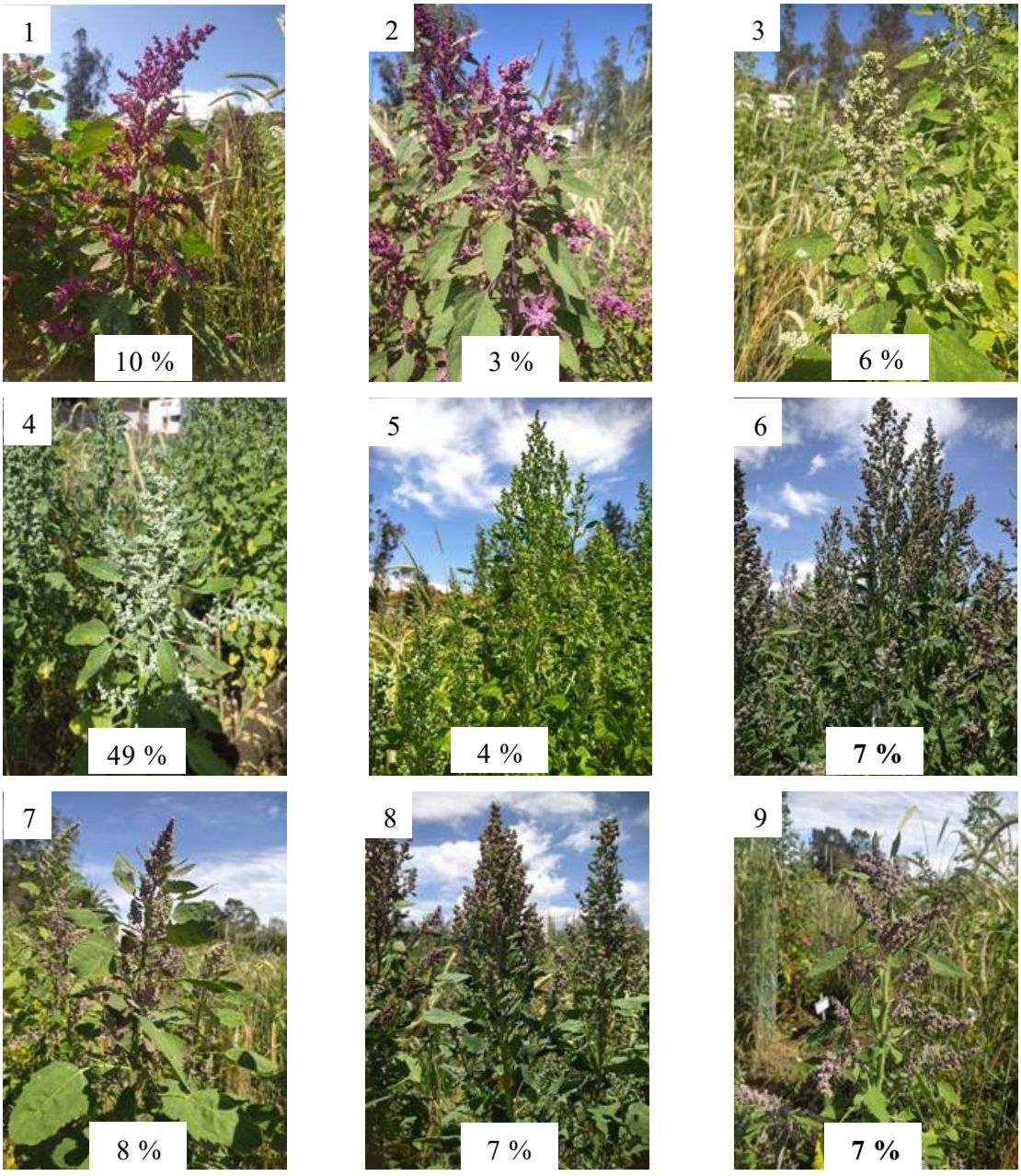
4.2.11 Color de la panoja en floración

En cuanto al color de la panoja en la etapa de floración, se identificaron 9 categorías de color (Figura 23). De las cuales, destacan panojas de color verde en diferentes tonos con una frecuencia del 65 %, seguido de panojas en tonos púrpuras o violetas con el 20 % de

presencia y en combinaciones mixtas de violeta-verde en un 15 % de las accesiones. Estos resultados concuerdan con los reportados por Delgado (2022) en quinua nativas, quien identificó una mayor frecuencia de panojas de color verde (50.7 %), seguido de panojas púrpuras con 38.6 % de presencia, mientras que las panojas mixtas entre púrpura y rojo eran poco frecuentes (10.6 %). La similitud entre ambos estudios evidencia que los tonos verdes constituyen la coloración predominante en gran parte del germoplasma nativo ecuatoriano.

Figura 23

Categorías del color de la panoja en floración identificadas en la colección de quinua.



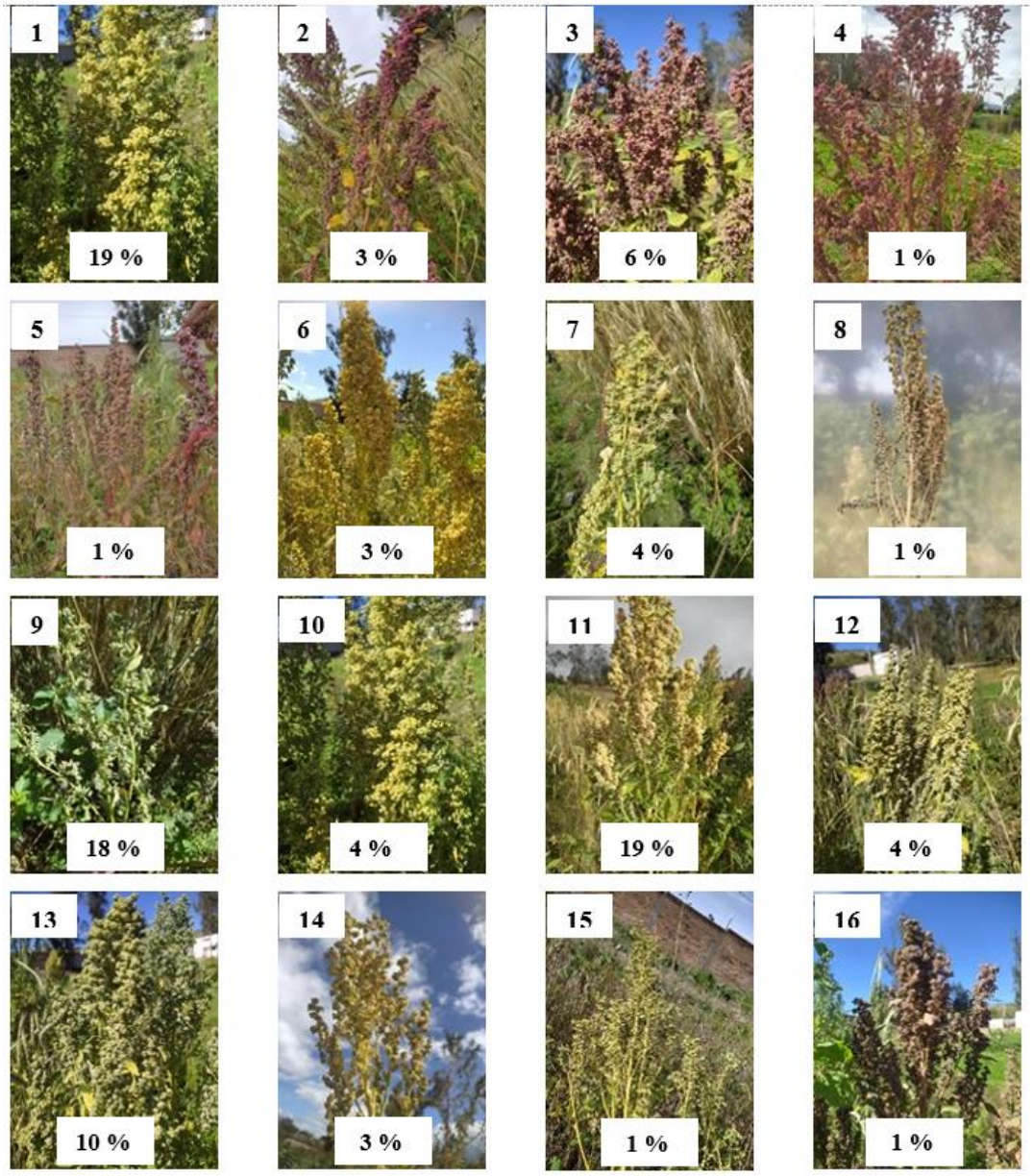
Nota. 1. Púrpura medio, 2. Rosa azulado oscuro, 3. Verde amarronado claro, 4. Verde claro, 5. Verde medio, 6. Verde oscuro, 7. Violeta y verde, 8. Violeta claro, 9. Violeta oscuro y verde claro.

4.2.12 Color de la panoja en la madurez fisiológica

La variabilidad de colores en la panoja aumentó significativamente en la madurez fisiológica, en la que se registraron 16 categorías (Figura 24). De las cuales, con una frecuencia del 19 % aparecen panojas de colores rosa anaranjado medio. Por otro lado, las combinaciones mixtas (6 categorías) se presentan en un 55 % de los materiales.

Figura 24

Porcentajes y categorías del color de la panoja en la madurez fisiológica identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



Nota. 1. Amarillo medio. 2. Rojo púrpura medio, 3. Verde claro, 4. Rojo medio, 5. Rosa azulado medio, 6. Rosa anaranjado medio, 7. Verde claro, 8. Verde medio, 9. Verde amarillento medio, 10. Naranja amarillento medio, 11. Amarillo medio y rojo púrpura medio, 12. Amarillo medio y rosa azulado oscuro, 13. Verde amarillento claro y rojo púrpura medio, 14. Púrpura oscuro y rojo medio, 15. Verde amarillento medio y marrón medio, 16. Púrpura medio y verde amarronado medio.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Ilbay (2020) en quinuas nativas tipo Chimborazo, donde se reportan con mayor frecuencia panojas mixtas en el 51 % de los ecotipos evaluados, seguido de panojas de color rojo con un 45.8 % de presencia. De acuerdo con Li et al. (2026), la variabilidad de colores en panojas, especialmente en la madurez fisiológica, se debe principalmente a diferencias en la acumulación de metabolitos secundarios como flavonoides (antocianinas) en algunas variedades y betalaínas en otras. Esto se debe a que tanto las betalaínas como las antocianinas son mutuamente excluyentes en la misma planta (Li et al., 2019).

4.2.13 Color del pericarpio

En la Figura 25 se observa una marcada predominancia de semillas con un color de pericarpio naranja amarillento claro presente en el 58 % de la población analizada. Por otro lado, un aspecto a resaltar en el presente estudio es la presencia de semillas de colores mixtos entre naranja amarillento claro y púrpura oscuro identificadas en dos accesiones ECU-276 y ECU-275; de igual manera, la combinación mixta entre rosa azulado claro y naranja amarillento claro se registró en tres accesiones ECU-490, ECU-220 y ECU-27194. En contraste, Delgado (2022), en su estudio de caracterización de quinuas nativas, reportó una menor variabilidad en este carácter con apenas dos colores identificados, de los cuales el color crema se encontró en el 99.5 % de los materiales evaluados, y apenas un material presentó color de pericarpio amarillo.

Quispe (2021) menciona que, si bien el color de las plantas de quinua es un carácter de herencia simple, el color de los granos es producto de la acción de agentes complementarios, siendo el color blanco un carácter recesivo. De acuerdo con Escribano et al. (2017), la presencia de betaxantinas y las betacianinas en granos de quinua explican la diversidad de colores presentes en este pseudocereal, donde la coexistencia de estos pigmentos genera diferentes tonos, que podrían usarse en industrias farmacéuticas, cosméticas o alimentarias.

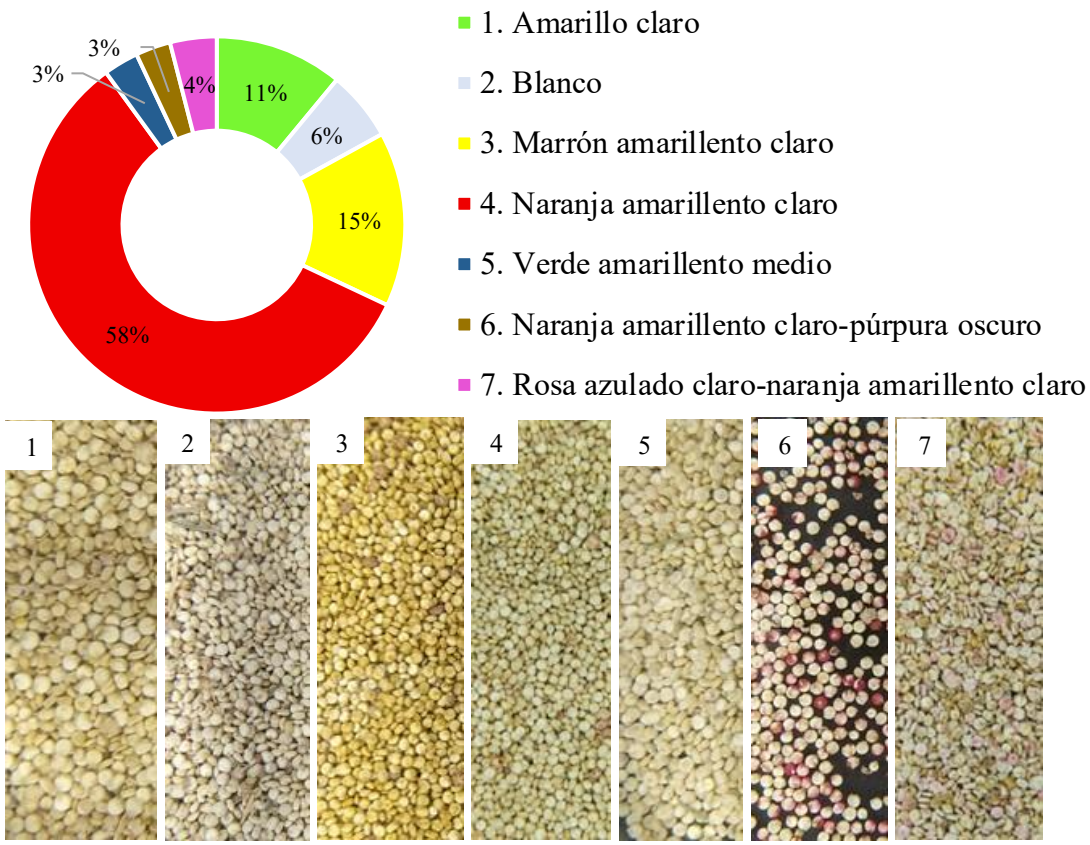
4.2.14 Presencia de saponinas

El 82 % del germoplasma estudiado presenta saponinas, en contraste con el 18 % que no registró este carácter (Figura 26). Es indispensable mencionar que, para la determinación de la presencia de saponinas, se evaluaron 5 plantas por accesión de las cuales, se tomó la categoría de presencia o ausencia de saponinas con mayor frecuencia para representar a la accesión; sin embargo, esta cualidad no determina necesariamente que una accesión

sea clasificada como dulce o amarga, puesto que como se pudo evidenciar dentro de cada accesión también existe variabilidad en el contenido de saponinas.

Figura 25

Porcentajes y categorías del color del pericarpio identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



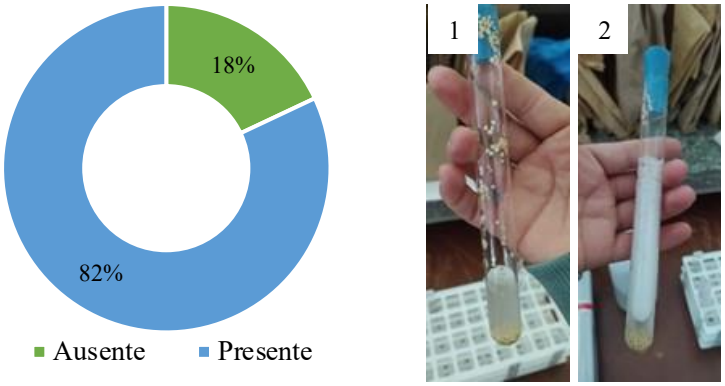
Nota. 1. Amarillo claro, 2. Blanco, 3. Marrón amarillento claro, 4. Naranja amarillento claro, 5. Verde amarillento medio, 6. Naranja amarillento claro y púrpura oscuro, 7. Rosa azulado claro y naranja amarillento claro.

En este contexto, se puede mencionar que las accesiones ECU-262, ECU-252 y ECU-258, a pesar de que se describen como quinuas con ausencia de saponinas mayoritariamente, dentro de las muestras analizadas para determinar el contenido de saponinas (3 muestras por accesión, una por planta), en uno de los casos el contenido fue mayor al 0.11 %, clasificando a la muestra como amarga (2). De acuerdo con Mamani et al. (2022), la presencia de granos amargos en variedades dulces y viceversa se atribuye a la polinización cruzada. Las saponinas son compuestos bioactivos con actividad antiinflamatoria y anticancerígena con potencial farmacológico. No obstante, el sabor amargo de los granos puede limitar la aplicación nutricional. Por lo tanto, identificar

materiales con un nivel adecuado de saponinas es importante en la selección de materiales de interés agronómico (Escribano et al., 2017).

Figura 26

Porcentajes y categorías de la presencia de saponinas identificadas en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.

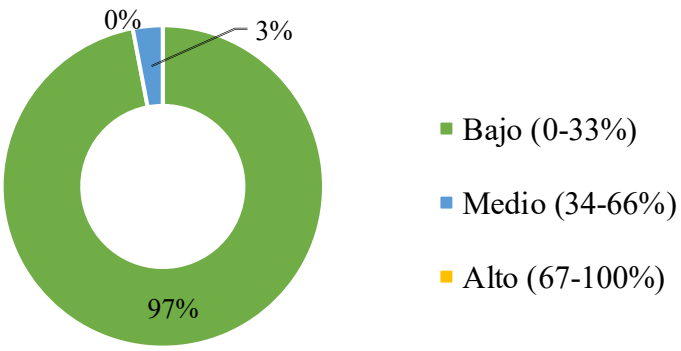


4.2.15 Acame de tallo (%)

En la Figura 27, se muestra que únicamente el 3 % de las accesiones presentan una susceptibilidad media al acame (ECU-262, ECU-27194). Por otro lado, el 97 % de la población no presentó este problema; la baja incidencia observada puede atribuirse, por una parte, a un adecuado manejo del cultivo con relación a las labores culturales como el aporque. Esto se debe a que esta práctica incrementa la estabilidad estructural de la planta y favorece el anclaje radicular (Flores et al., 2010). Por otro lado, Wang et al. (2021) mencionan que la ausencia de acame está asociada a características morfológicas favorables, tales como altura de la planta, diámetro y resistencia del tallo y la masa de la panoja, factores determinantes en la resistencia al acame en quinua.

Figura 27

Categorías y frecuencias del porcentaje de acame identificado en la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma de INIAP.



4.3 Análisis estadístico de las características morfoagronómicas de la colección de quinua

En el análisis de los componentes principales se observa que el componente 1 explica el 40 % de la variabilidad, asociada probablemente a caracteres de mayor peso morfoagronómico. Mientras que el componente 2 explica el 25 % de esta variabilidad, formando una proporción acumulada del 65 %, lo que indica que con los dos primeros componentes se explica adecuadamente la variabilidad de la colección de quinua. Mientras que, en su estudio de caracterización de quinua, Castro et al. (2023) obtuvieron que los dos primeros componentes concentraron 86.38 % de la varianza. De acuerdo con Goretzko y Buhner (2022), la regla de Kaiser–Guttman indica que para determinar el número de factores se deben conservar aquellos cuyo valor propio correspondiente es mayor a uno.

El análisis de los autovectores (Tabla 21) muestra que los componentes 1 y 2 presentaron variables con coeficientes mayores a 0.30. En el componente 1, las variables de mayor peso están asociadas a la morfología de la planta (altura, diámetro de tallo, tamaño de hojas) y a su fenología en las etapas finales del ciclo de producción (días al final de floración y días al inicio de cosecha). Mientras que en el eje 2 las variables de mayor influencia están relacionadas con la fenología del cultivo en etapas tempranas de desarrollo (días a la emergencia, días a la formación del botón floral y días al inicio de floración) y a la productividad (rendimiento e índice de cosecha).

Tabla 21

Componentes principales seleccionados y coeficientes de variables cuantitativas empleadas en la caracterización de la colección de quinua proveniente del Banco de Germoplasma del INIAP en Chaltura-Imbabura.

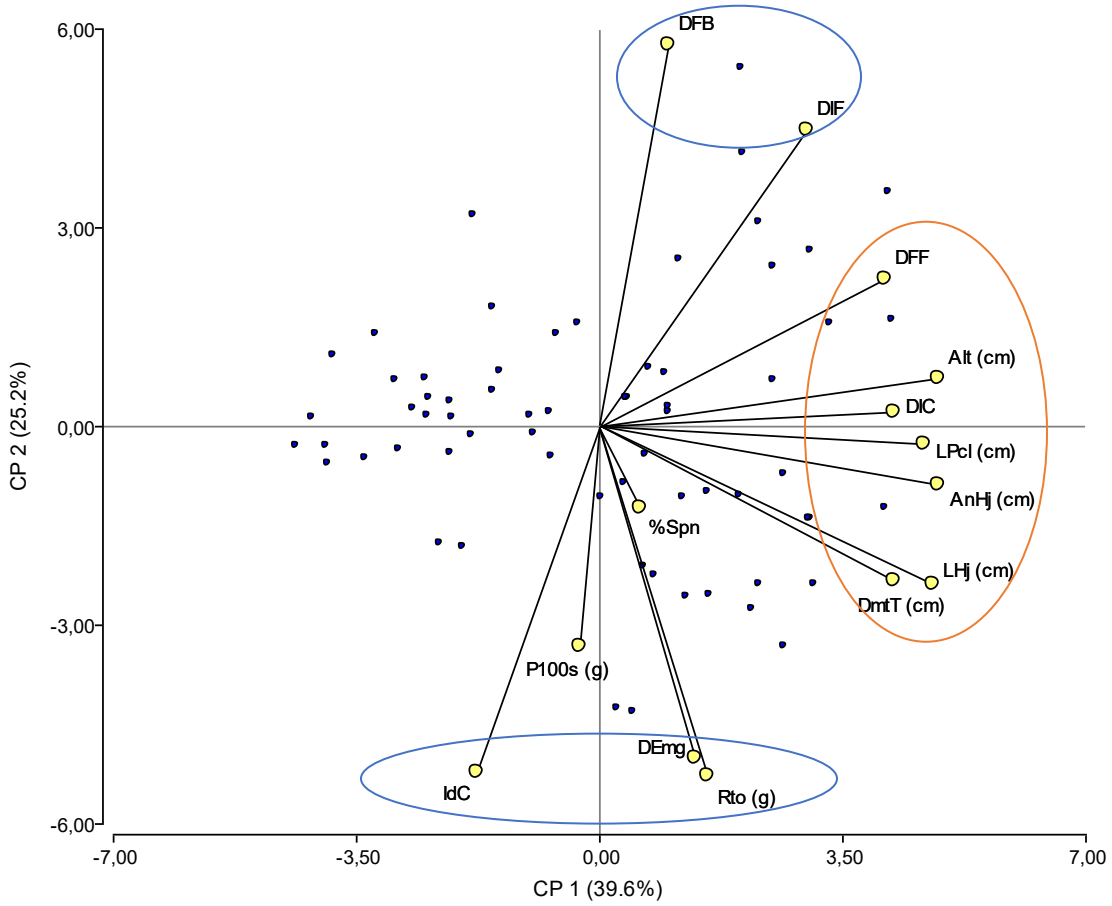
Variables	Código	e1	e 2
Altura de la planta	Alt (cm)	0.38	0.06
Peso de 100 semillas	P100s (g)	-0.02	-0.26
Rendimiento de semillas por planta	Rto (g)	0.12	-0.41
Diámetro del tallo principal	DmtT (cm)	0.33	-0.18
Longitud máxima de la hoja	LHj (cm)	0.38	-0.19
Ancho máximo de la hoja	AnHj (cm)	0.38	-0.07
Longitud del pecíolo	LPcl (cm)	0.37	-0.02
Contenido de saponinas	%Spn	0.05	-0.10
Índice de cosecha	IdC	-0.14	-0.41
Días a la emergencia	DEmg	0.11	-0.39
Días a la formación de botón floral	DFB	0.08	0.45
Días hasta el inicio de la floración	DIF	0.23	0.35
Días al final de floración	DFF	0.32	0.17
Días al inicio de la cosecha	DIC	0.33	0.02

En contraste, Castro et al. (2023) corroboraron que las variables que más incidieron según sus coeficientes absolutos fueron los días a la cosecha, la longitud de la panoja y el diámetro de la panoja. Ferreira (1987), citado por Franco e Hidalgo (2003), sugiere que el peso de cada variable asociada está relacionado con las cargas que se distribuyen en los componentes.

Por otro lado, en la Figura 28 se muestra gráficamente la distribución de las variables con relación a los ejes 1 y 2. Esto permite evidenciar que las variables relacionadas con la calidad del grano, como el peso de 100 semillas y el porcentaje de saponinas, presentan vectores alejados del resto, indicando una menor contribución a la diferenciación del material vegetal estudiado.

Figura 28

Distribución de las variables originales de accesiones sobre el primer y segundo componente principal en la caracterización de la colección de quinua.



Nota. Ordenación bidimensional de los rasgos cuantitativos en plantas de quinoa. En el componente 1 (PC1), los rasgos cuantitativos contribuyeron más (39,6 %) a la variación entre genotipos, mientras que en el componente 2 (PC2) contribuyeron comparativamente menos (25,2 %) a la varianza total.

De igual manera es importante resaltar que, en el eje 2 las variables fenológicas (DFB y DFF) presentan signo positivo, mientras que las variables asociadas con la productividad y calidad de grano son negativas (peso de 100 semillas, índice de cosecha, rendimiento). Según Franco e Hidalgo (2003), las variables de coeficiente negativo (-) están caracterizadas en sentido contrario en relación con las variables positivas (+) y viceversa. Lo que indica una relación inversa entre el inicio de la etapa reproductiva y el rendimiento, donde accesiones cuya etapa reproductiva fue precoz tienden a presentar mayores niveles de productividad.

4.4 Análisis de conglomerados en la colección de quinua

Los datos obtenidos de los caracteres cuantitativos y cualitativos se analizaron a través de las distancias de Gower y el agrupamiento jerárquico de Ward (Figura 29). El valor de la correlación confenética es de 0.56, lo que indica una correspondencia moderada entre las distancias originales y las representadas en el dendrograma. Esto concuerda con lo reportado por Delgado (2022), quien en su trabajo de caracterización registró una correlación confenética de 0.53.

El conjunto de materiales caracterizados se agrupó en tres conglomerados (Figura 29), de los cuales en el grupo 1 se encuentran 29 accesiones, seguido del grupo 3 con 27 accesiones, mientras que el grupo 2 cuenta con 19 genotipos que comparten características similares. Cabe destacar que los conglomerados 1 y 2 con materiales procedentes de Pichincha comparten más caracteres en común entre ellos que con el grupo 3 de materiales procedentes de Chimborazo (Anexo 1), puesto que se integran a una distancia de 1.46 aproximadamente, mientras que el grupo 3 se integra a una distancia aproximada de 2.5. A continuación se describen las características agronómicas cuantitativas de cada grupo.

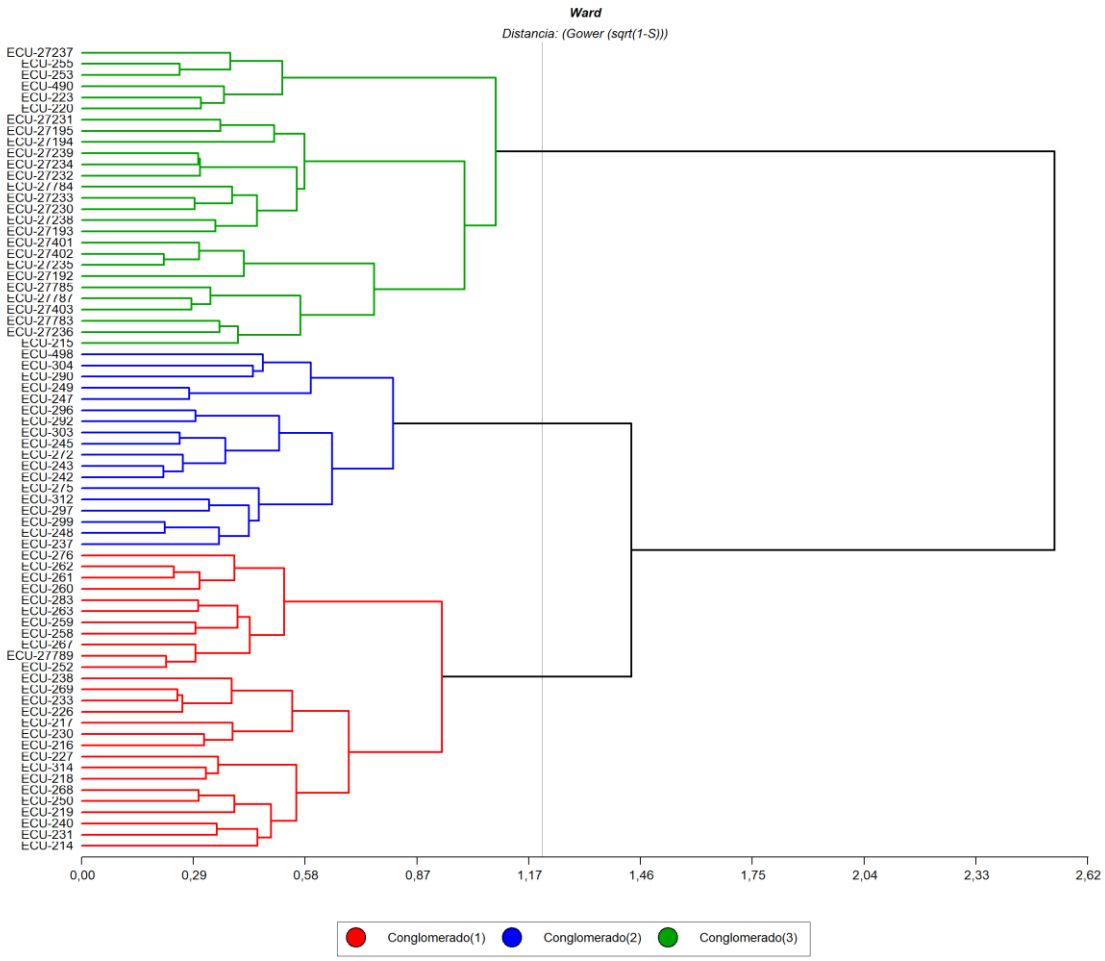
4.5 Variabilidad fenotípica de la colección de quinua a nivel grupal

4.5.1 Caracteres cuantitativos

En la Tabla 22 se muestran los valores discriminantes obtenidos mediante el análisis de varianza entre los conglomerados a través de la prueba LSD de Fisher al 5 %. Se determinaron diferencias significativas entre los grupos para 12 descriptores cuantitativos, que se describen a continuación:

Figura 29

Dendrograma obtenido del análisis de conglomerados basado en 30 caracteres fenotípicos de 72 accesiones de quinua.



4.5.1.1 Descriptores fenológicos. En general, con respecto al ciclo del cultivo, el Grupo 2 se caracteriza por accesiones más precoces con relación a los Grupos 1 y 3, especialmente en lo que se refiere a los días al final de la floración y al inicio de la cosecha con promedios de 94 y 121 días respectivamente. Mientras que el Grupo 3 es el más tardío, en especial en los días transcurridos para alcanzar la madurez fisiológica, que fue a los 160 días después de la siembra (39 días más que el Grupo 1). De igual manera, es importante destacar que este grupo presentó una etapa reproductiva más amplia con 107.8 días desde la formación del botón floral al inicio de la cosecha; en contraste, el Grupo 1 tuvo una duración de 66.7 días en esta etapa y el Grupo 2 de 82.7 días.

4.5.1.2 Descriptores morfológicos. Tanto el Grupo 2 como el Grupo 3 se describen como plantas altas de tallos gruesos, de 174 y 186 cm respectivamente, a diferencia del Grupo 1, que se presenta como plantas pequeñas de 125 cm de altura y de

tallos delgados de 1.02 cm de diámetro. Lo mismo ocurre con el tamaño de las hojas, donde el Grupo 1 presenta hojas pequeñas, de 6 cm de longitud, siendo 3.25 cm menos que el tamaño de las hojas del Grupo 3 y 1.77 cm menos que las hojas de las accesiones del Grupo 2.

4.5.1.3 Rendimiento y calidad del grano. Una de las características más discriminantes para la selección de accesiones promisorias es el rendimiento. En este estudio se determinó que las accesiones del Grupo 3 alcanzaron un rendimiento de 27.67 g de semilla por planta en promedio, siendo significativamente mayor ($p<0.0027$) que los obtenidos por los grupos 1 y 2, que son similares estadísticamente. Esto puede atribuirse a que en el Grupo 3 son plantas más robustas. Por otro lado, en cuanto a la calidad de las semillas, los grupos 1 y 3 se caracterizaron por semillas pesadas; en cambio, el Grupo 2 se caracterizó por semillas ligeramente más livianas, con un peso de 0.04 g por 100 semillas, menos que el Grupo 1 (Tabla 22).

Tabla 22

Análisis de varianza para variables cuantitativas según conglomerados formados en la colección de quinua.

Variables	G1	G2	G3	p-valor
Fenología del cultivo				
DEmg	6.23±0.07b	6.35±0.11b	6.78±0.07 a	<0.0001
DFB	62.72±1.69 a	54.97±2.56 b	52.52 ± 1.71 b	0.0002
DIF	82.49±1.87a	81.90±1.91a	73.44±2.85b	0.0248
DFF	106.03±1.37a	94.92±2.08b	109.31±1.39a	<0.0001
DIC	145.43±3.81b	121.64±3.81c	160.34±2.55a	<0.0001
Morfología				
Alt (cm)	174.77±5.03a	125.37±7.64b	186.87±5.11a	<0.0001
DmtT (cm)	1.27±0.04b	1.02±0.06c	1.42±0.04a	<0.0001
LHj (cm)	7.88±0.19b	6.11±0.30c	9.36±0.20a	<0.0001
AnHj (cm)	7.48±0.23b	5.32±0.36c	8.43±0.24a	<0.0001
LPcl (cm)	5.82±0.15a	4.32±0.23b	6.20±0.15a	<0.0001
Rendimiento y calidad del grano				
Rto (g)	17.61±2.30b	15.35±3.49b	27.67±2.34a	0.0027
P100s (g)	0.19±0.01b	0.23±0.01a	0.22±0.01a	0.0015

El grupo 3 presenta características agronómicas semejantes a variedades comerciales tales como INIAP Tunkahuan e INIAP Cochasquí en cuanto a altura y ciclo de cultivo; no obstante, las accesiones de este estudio presentan mayores rendimientos. Por otro lado, si bien las accesiones del grupo 1 presentan rendimientos más bajos que dichas variedades, su ciclo de cultivo fue más precoz (Nieto et al., 1986b). Mientras que el grupo 2, en contraste con la variedad INIAP Pata de venado, que es la variedad comercial más precoz

(130 a 160 días a la cosecha). Las accesiones de este grupo presentan un mayor rendimiento que dicha variedad, cuyo rendimiento es de 13 g de semilla por planta; además, las plantas de este grupo tienden a ser hasta 50 cm más altas (Peralta et al., 2013).

4.5.2 Caracteres cualitativos

En la Tabla 23 se presentan los valores discriminantes para los descriptores de carácter cualitativo, que permiten la diferenciación morfológica del grupo de accesiones. Se observa que 9 de los 16 caracteres morfológicos fueron significativamente discriminantes entre los conglomerados. De igual forma, la prueba de Chi-cuadrado evidencia una asociación significativa ($p<0.05$) entre las variables evaluadas. Además, los coeficientes de contingencia de Pearson (C) y Cramer (V) indican una relación de magnitud alta, lo que sugiere una asociación consistente entre las variables estudiadas.

Tabla 23

Valores discriminantes en caracteres cualitativos polimórficos obtenidos en la diferenciación agromorfológica según conglomerados formados de la colección de quinua.

Variables	Código	V	C	X^2	p-valor
Color del tallo principal	CT	0.48	0.64	50.66	0.0005
Presencia de axilas pigmentadas	PAxp	0.48	0.64	50.78	<0.0001
Color de estrías	CEts	0.29	0.45	18.47	0.0179
Margen de la hoja	MrjHj	0.30	0.46	19.70	0.0006
Color de la lámina foliar	CHj	0.43	0.60	40.74	<0.0001
Forma de la panoja	FPnj	0.35	0.45	17.87	0.0001
Color de la panoja en floración	CPnjF	0.47	0.63	48.46	<0.0001
Color del pericarpio	CPrcp	0.39	0.56	32.43	0.0012
Densidad de la panoja	DPnj	0.22	0.30	7.27	0.0263

Nota: Chi-cuadrado X^2, coeficientes de contingencia de Pearson (C) y Cramer (V).

4.6 Identificación de morfotipos por conglomerados

El análisis de agrupamiento jerárquico de Ward permitió identificar tres grupos que comparten características fenotípicas similares o iguales. Los resultados del análisis de frecuencias relativas por conglomerados para cada carácter se describen a continuación:

4.6.1 Caracteres asociados al tallo

Los Grupos 1 y 2 presentan tallos de color amarillo medio en mayor proporción que el resto de los colores, mientras que el Grupo 3 presenta tallos de color verde amarillento y rojo púrpura medio en igual frecuencia. El 97 % de las accesiones del Grupo 1 no presentan axilas pigmentadas; por el contrario, el 77 % del Grupo 2 sí; por otro lado, en el Grupo 3 no se pudieron determinar, puesto que el color del tallo fue similar al de las

axilas. En cuanto al color de las estrías, en general el 78 % de las accesiones exhiben un color verde claro (Tabla 24).

4.6.2 Caracteres asociados a la hoja

En lo que respecta al margen de la hoja, podemos resaltar que del germoplasma analizado la accesión ECU-27192 es la única en presentar margen entero, mientras que el 53 % de los genotipos presentan un margen aserrado y el 46 % son de margen dentado. Las hojas tienen márgenes dentados y aserrados como adaptaciones que permiten a las plantas maximizar la captura de luz, minimizar la pérdida de agua (Tabla 24).

4.6.3 Caracteres asociados a la panoja

El 35 % de las accesiones caracterizadas presentan una forma de la panoja glomerulada, la cual se encuentra en mayor proporción en los grupos 2 y 3. Esta forma de panoja permite una mejor distribución de los glomérulos, lo que es crucial para la producción de semillas y el crecimiento saludable de la planta. En lo que se refiere a la densidad de la panoja, el 83 % de los materiales evaluados son de estructura intermedia. Por otro lado, en cuanto al color de la panoja en floración, el Grupo 2 presentó mayor uniformidad, ya que el 92 % de las acciones del mismo exhiben un color verde claro, seguido del 67 % del Grupo 1 con el mismo color. En cambio, en el Grupo 3, con mayor frecuencia (24 %) encontramos panojas de color púrpura medio (Tabla 24).

4.6.4 Caracteres asociados a la semilla

El color de pericarpio naranja amarillento claro es el más predominante entre los conglomerados con el 58 % de frecuencia, especialmente en los Grupos 1 y 2. Seguido de color marrón a amarillento claro presente en el 31 % del Grupo 3 y el 7 % del Grupo 1. Cabe destacar que el 7 % de las accesiones presentaron semillas de color mixto entre naranja amarillento claro y púrpura medio y naranja amarillento claro con rosa azulado claro (Tabla 24).

Tabla *24*

Frecuencias relativas por conglomerados de los descriptores cualitativos que fueron polimórficos en las 72 accesiones de quinua evaluadas.

Variables	Clase	G1	G2	G3	F. T.
Caracteres asociados al tallo		%	%	%	%
Presencia de axilas pigmentadas	0. Ausente	97	23	31	57
	1. Presente	3	77	28	26
	2. No determinadas	0	0	41	17

Nota. F.T. (Frecuencia total dentro de la colección de quinua).

Continuación Tabla 24

Variables	Clase	G1	G2	G3	F. T.
Caracteres asociados al tallo		**%**	**%**	**%**	**%**
Color del tallo principal	1. Amarillo claro	10	0	17	11
	2. Amarillo medio	37	62	7	29
	3. Marrón amarillento medio	3	0	0	1
	4. Púrpura	0	0	7	3
	5. Rojo púrpura medio	0	0	24	10
	6. Rosa rojizo	0	0	17	7
	7. Verde amarillento	27	15	24	24
	8. Verde claro	10	0	0	4
	9. Naranja amarillento medio	10	15	0	7
	10. Verde amarillento claro-púrpura medio	0	8	0	1
	11. Marrón anaranjado	3	0	0	1
	12. Rosa azulado claro	0	0	3	1
Color de estrías de quinua en la floración	1. Verde amarronado claro	3	0	24	11
	2. Verde amarronado medio	0	0	10	4
	3. Verde claro	90	85	62	78
	4. Verde grisáceo medio	0	8	0	1
	5. Verde medio	7	8	3	6
Caracteres asociados a la hoja					
Forma del margen de la hoja	1. Entero	0	0	3	1
	2. Dentado	50	92	21	46
	3. Aserrado	50	8	76	53
Color de la lámina foliar	1. Verde amarronado	0	15	10	7
	2. Verde amarronado oscuro	37	31	10	25
	3. Verde claro	7	0	3	4
	4. Verde medio	47	38	7	29
	5. Verde oscuro	10	8	69	33
	6. Verde medio-púrpura medio	0	8	0	1
Caracteres asociados a la panoja					
Forma de la panoja	1. Glomerulada	7	54	55	35
	2. Intermedia	93	46	45	65
Densidad de la panoja	1. Laxa	30	0	10	17
	2. Intermedia	70	100	90	83
Color de la panoja a la floración	1. Púrpura medio	0	0	24	10
	3. Rosa azulado oscuro	0	0	7	3
	4. Verde amarronado claro	7	0	7	6
	5. Verde claro	67	92	10	49
	6. Verde medio	3	0	7	4
	7. Verde oscuro	0	0	17	7
	8. Violeta-verde	17	0	3	8
	9. Violeta claro	0	8	14	7
	10. Violeta oscuro-verde claro	7	0	10	7
Caracteres asociados a la semilla					
Color del pericarpio	1. Amarillo claro	27	0	0	11
	2. Blanco	3	0	10	6
	3. Marrón amarillento claro	7	0	31	15
	4. Naranja amarillento claro	60	85	45	58
	5. Verde amarillento medio	0	8	3	3
	6. Naranja amarillento claro-púrpura oscuro	3	8	0	3
	7. Rosa azulado claro-naranja amarillento claro	0	0	10	4

Nota. F.T. (Frecuencia total dentro de la colección de quinua).

4.7 Severidad de plagas y enfermedades presentes en la colección de quinua

A lo largo del experimento, se observaron diferencias entre la severidad del ataque de enfermedades como la pudrición de tallo y mildiú entre las accesiones de quinua, además de diferencias de severidad en plagas tales como el trip. Los datos se registraron en monitoreos directos cada 15 días a lo largo del ciclo de cultivo y se analizaron por conglomerados, excepto para la severidad del ataque de pudrición de tallo.

En el caso de la pudrición de tallo causada por hongos, se observó que todas las accesiones alcanzaron una escala de severidad 3 (la infección comprende toda la zona basal, la planta sede y muere), la diferencia se registró en el número de días hasta que se presentó la enfermedad, y esta estuvo relacionada con la sección del experimento más que con el grupo al que pertenece la accesión. Las accesiones de la sección 1 (22 materiales) presentaron la enfermedad a los 9 días después de la siembra, mientras que las accesiones de la sección 2 (50 materiales) presentaron esta enfermedad a los 12 días. Esta diferencia puede asociarse a que en la siembra de la sección 1 hubo presencia de lluvias; por tanto, hubo mayor humedad en el suelo; en cambio, en la siembra de la sección 2 las lluvias fueron menos constantes, por lo que se realizó riego por aspersión.

4.7.1 Severidad de plagas y enfermedades en accesiones del grupo 1

En la Figura 30 se observa la escala máxima de severidad alcanzada por el mildiú en las accesiones del Grupo 1. El material menos susceptible a esta enfermedad dentro de este grupo fue ECU-27789 con una escala de severidad de 5, seguido de las accesiones ECU-238, ECU-314, ECU-227 con una escala de 6, lo que indica que la afectación se presentó en el 70 % de la planta hasta el tercio medio. Por otro lado, las accesiones más susceptibles a esta enfermedad fueron ECU-263, ECU-260, ECU-250, ECU-216, ECU-268, ECU-261, ECU-262, ECU-267, ECU-240, ECU-258, que presentaron una escala de severidad de 8, con afectación hasta el tercio superior de la planta.

En la Figura 31 se presenta el número total de individuos de trips registrados en 10 monitoreos a lo largo del ciclo del cultivo en las accesiones del grupo 1. Las accesiones son ECU-218, ECU-219, ECU-226, ECU-233. ECU-238, ECU-261, ECU-268, ECU-276, ECU-283, ECU-314, ECU-216, ECU-27789, menos de 10 individuos en todo el ciclo, mientras que las accesiones ECU-227, ECU-250, ECU-260 fueron más susceptibles a la presencia de esta plaga con más de 20 especímenes durante los monitoreos. En conclusión, dentro de este grupo 1 destacan las accesiones ECU-27789, ECU-238, ECU-

314 como materiales menos susceptibles a las plagas y enfermedades identificadas en la colección.

Figura 30

Severidad máxima alcanzada del ataque de mildiu en accesiones del conglomerado 1 a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

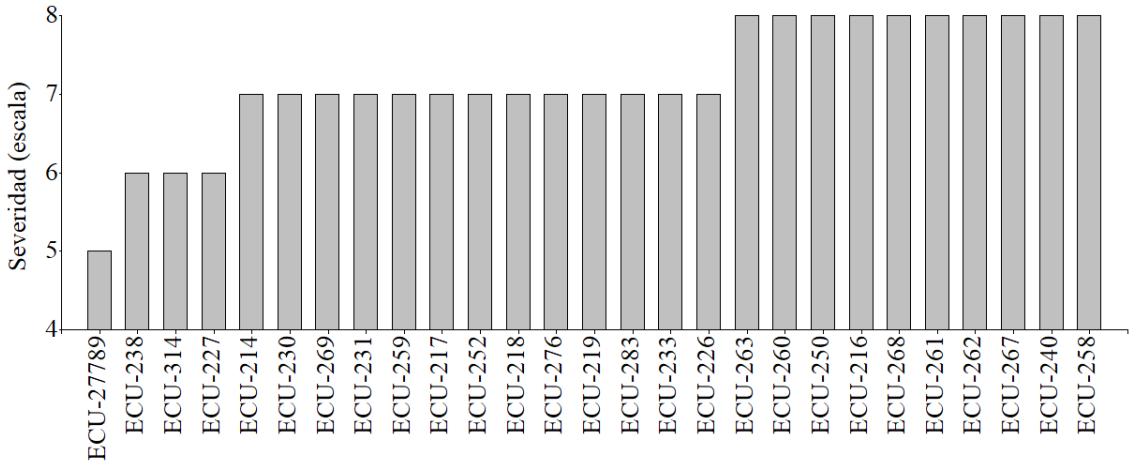
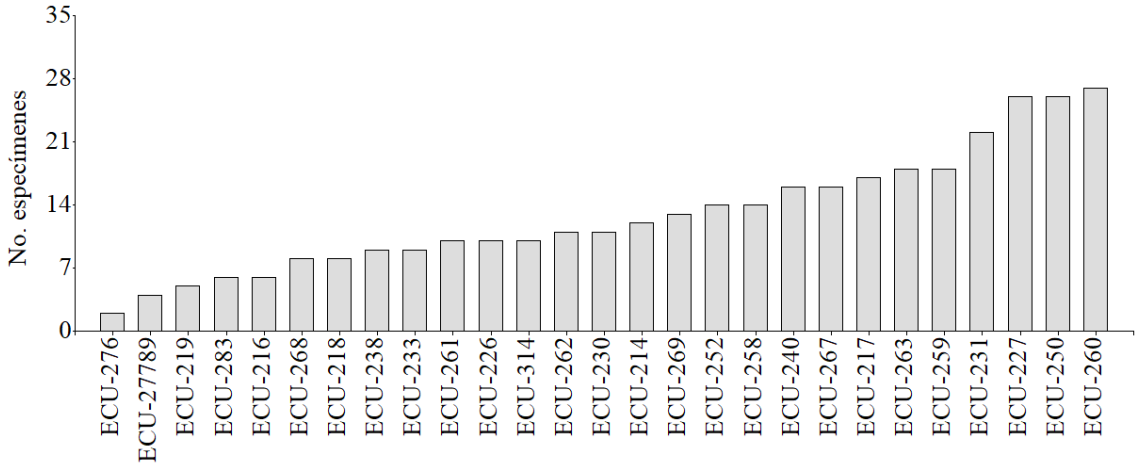


Figura 31

Número de especímenes de trips registrados a lo largo del ciclo de cultivo en accesiones de quinua del conglomerado 1.

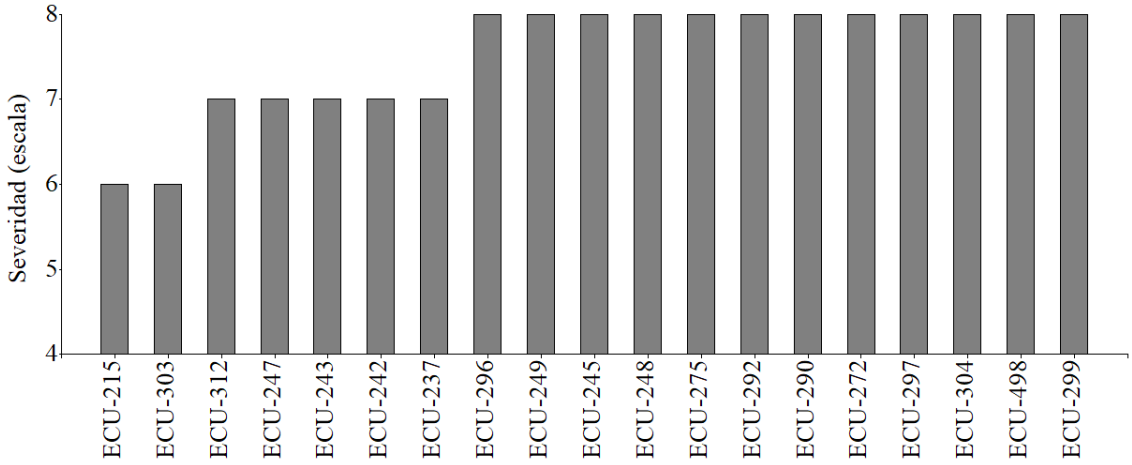


4.7.2 Severidad de plagas y enfermedades en accesiones del grupo 2

En el grupo 2, a diferencia del grupo 1, únicamente dos materiales evaluados presentaron una escala de severidad de 6 (afectación hasta el tercio medio de la planta), mientras que el resto de las accesiones tuvieron afectaciones por mildiu hasta el tercio superior. Esto quiere decir que los materiales de este grupo tienen una mayor vulnerabilidad a dicha enfermedad (Figura 32).

Figura 32

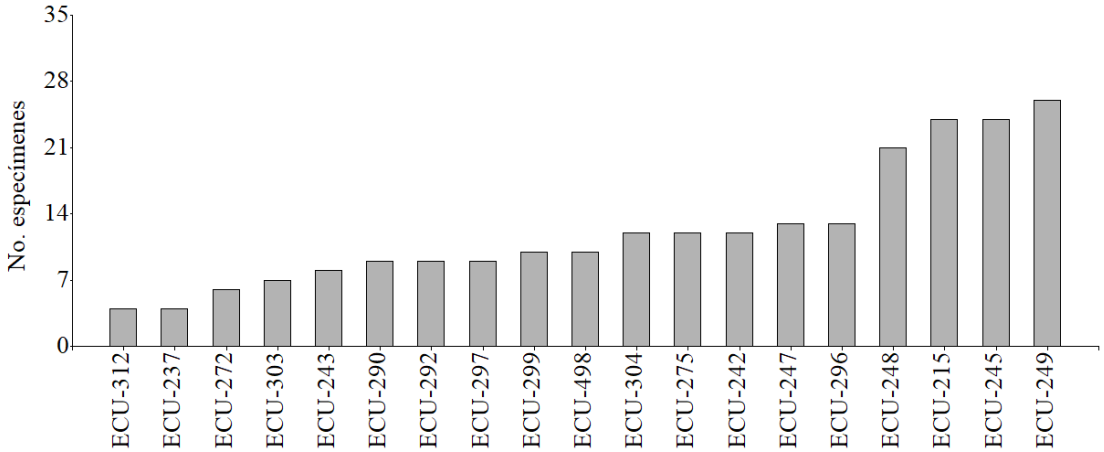
Severidad máxima alcanzada del ataque de mildiu en accesiones del conglomerado 2 a lo largo de todo el ciclo de cultivo.



En contraste con el grupo 1, dentro del grupo 2 se identificaron 10 accesiones (ECU-312, ECU-237, ECU-272, ECU-303, ECU-243, ECU-290, ECU-292, ECU-297, ECU-299, ECU-498) que presentaron en total menos de 10 individuos de trips en los monitoreos y cuatro de los materiales evaluados (ECU-248, ECU-215, ECU-245, ECU-249) más de 20 individuos (Figura 33). Cabe resaltar que, dentro del grupo 2, la accesión ECU-303 es el material con menor vulnerabilidad a las plagas y enfermedades identificadas en la colección.

Figura 33

Número de especímenes de trips registrados a lo largo del ciclo de cultivo en accesiones de quinua del conglomerado 2.

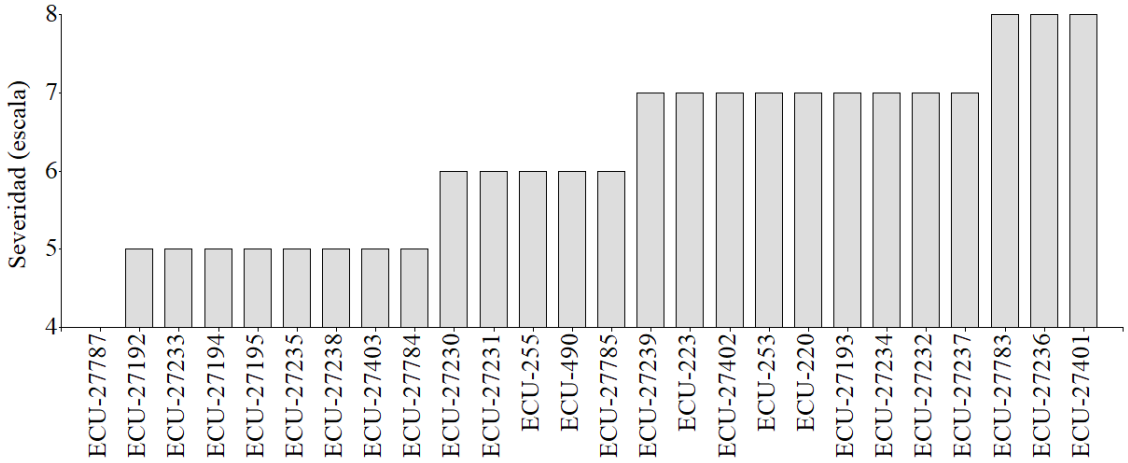


4.7.3 Severidad de plagas y enfermedades en accesiones del grupo 3

En comparación con los grupos anteriores, en el grupo 3 se observó un mayor número de materiales (14 accesiones) con resistencia a mildiu con una escala de severidad menor a 6, dentro de las cuales destaca la accesión ECU-27787 con una escala de severidad de 4. Es importante mencionar que la accesión ECU-27401, con una escala de severidad de 8 y afectaciones hasta el tercio superior de la planta, tuvo un rendimiento alto de 69. 27 g de semillas por planta, mientras que la accesión ECU-490, con una escala de severidad de 6, presentó bajos rendimientos de 6.99 g de semillas por planta (Figura 34). Esto indica que, si bien esta enfermedad puede tener repercusiones en el desarrollo del cultivo, en el presente estudio no influyó directamente en el rendimiento de los materiales.

Figura 34

Severidad máxima alcanzada del ataque de mildiu en accesiones del conglomerado 3 a lo largo de todo el ciclo de cultivo.



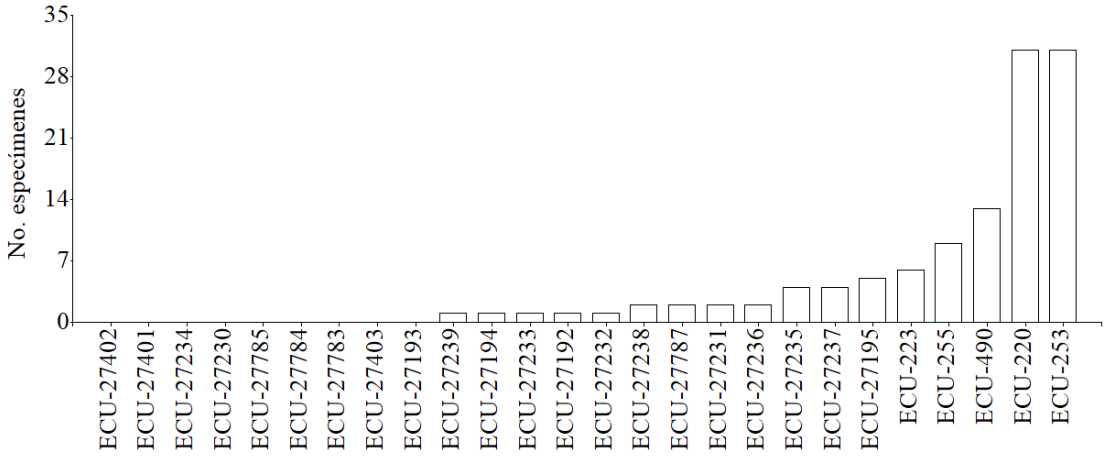
De igual manera, en el grupo 3 con respecto a la presencia de trips en contraste con los otros grupos se observa (Figura 35) una menor vulnerabilidad a dicha plaga, puesto que, el 88 % de los materiales de este grupo presenta menos de 10 especímenes a lo largo de los monitoreos y el 34 % de los mismos no presentaron esta plaga. Esto sugiere que los materiales de este grupo tienen una mayor resistencia a las plagas y enfermedades registradas en la colección.

De acuerdo con Colque-Little et al. (2021), el amortiguamiento o pudrición de tallo causado por *Fusarium avenacearum* (Fr.) Sacc. y *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp., es una infección que se presenta desde la etapa postemergencia hasta la formación del primer par de hojas, lo que muestra que la quinoa es susceptible a los patógenos antes

de la emergencia. Y al igual que lo identificado en este estudio, esta enfermedad tiende a presentarse bajo condiciones de alta humedad del suelo.

Figura 35

Número de especímenes de trips registrados a lo largo del ciclo de cultivo en accesiones de quinua del conglomerado 3.



En cuanto al mildiu, Estrada et al. (2020) mencionan que la respuesta de las accesiones de quinua a esta enfermedad está asociada directamente a las condiciones ambientales de variaciones de temperatura y la frecuencia de precipitaciones durante el desarrollo fenológico del cultivo. Dicha enfermedad reduce principalmente las áreas fotosintéticas de la planta, causando defoliación parcial total. Además, si el ataque ocurre en etapas iniciales de desarrollo vegetativo, se puede perder la cosecha.

Por otra parte, Gandarillas et al. (2015) reportan que la resistencia al mildiu está relacionada con el ciclo de cultivo, donde las variedades tardías tienen mayor resistencia al mildiu que las precoces. Esto se observa principalmente en el grupo 3, donde las variedades ECU-27787, ECU-27403, ECU-27192, ECU-27238, ECU-27194, ECU-27195 y ECU-27784 de ciclo semitardío (de 155 a 176 días a la cosecha) tienen una menor severidad del ataque de esta enfermedad.

Por otro lado, los trips en quinua se catalogan como plagas secundarias de generalmente bajas poblaciones, que no tienen mayor efecto en el rendimiento, excepto en épocas de sequía prolongadas coincidentes con las fases más susceptibles del cultivo como el inicio de formación de panojas y maduración de granos (Campos et al., 2012). Soca et al. (2022) registraron 167 individuos en todo el ciclo de cultivo de quinua. Esta plaga se presentó desde la etapa de 4-6 hojas verdaderas y a partir de la floración, su población se incrementó, manteniendo ese patrón hasta la cosecha.

Lo mismo ocurrió en la presente investigación, donde en la etapa inicial de floración se registró el mayor número de especímenes de esta especie en las accesiones ECU-220 (13 individuos), ECU-245 y ECU-250 (14 individuos), ECU-215 y ECU-260 (16 individuos) y ECU-249 (20 individuos), y la ECU-253 (27 individuos). Siendo las accesiones ECU-220 y ECU-253 las más vulnerables a la presencia de esta plaga, con 31 individuos en todo el ciclo de cultivo.

4.8 Selección de materiales promisorios por conglomerados

La selección de materiales promisorios en quinua se basó en caracteres de interés tales como: rendimiento, altura de la planta, precocidad y calidad de grano. De igual manera, se tomaron en cuenta aquellas accesiones con una mayor resistencia a plagas y enfermedades. Como referencia, se utilizaron variedades de quinua mejoradas liberadas por el INIAP, cuyas características agronómicas se describen en la Tabla 25.

Tabla 25

Características agronómicas de variedades de quinua mejoradas liberadas por el INIAP.

Variedad	Alt. (cm)	Rto. (g/p)	Rto. (kg/ha)	DIC	P100s (g)	%Spn	*S. mildiú	Fuente
INIAP Tunkahuan	90-180	20	2000	150-210	0.29-0.3	0.06	1-5	[1] [4]
INIAP Pata de Venado	68-75	13	1200–1400	130-160	0.22-0.28	0–0.05	3	[1] [2]
INIAP Cochasquí	110-180	25	1000–4000	160–220		>0.04	1-4	[3]
INIAP Imbaya	95-140	20	1000-3000	145-180		>0.04	1.5-4	[3]

Nota. [1] Peralta et al. (2013), [2] Mazón et al. (2001), [3] Nieto et al. (1986b). [4] Nieto et al. (1992). *Escala de severidad de mildiú de 1 a 9.

4.8.1 Materiales promisorios identificados del Grupo 1

Las accesiones seleccionadas (Tabla 26) dentro del Grupo 1 presentan atributos agronómicos diferenciados que justifican su inclusión en programas de mejoramiento. La accesión ECU-27789, de hábito de crecimiento simple, presenta el mayor rendimiento por planta (64 g), con una altura promedio de 144 cm, 155 días al inicio de cosecha y susceptibilidad media a mildiu; estas características la hacen ideal para programas de mejoramiento orientados a aumentar la productividad. Sin embargo, su contenido de saponinas (0.32 %) es mayor al nivel adecuado para consumo humano directo.

De igual manera, las accesiones ECU-238 y ECU-283 alcanzaron rendimientos superiores (26.36 g y 30.77 g, respectivamente) a los presentados por las variedades comerciales liberadas por el INIAP (Tabla 25). Asimismo, estos materiales se clasifican como semiprecoces, con ciclos de cultivo de 132 y 150 días respectivamente, lo que se traduce en más ciclos por año. Además, el contenido de saponinas de dichos materiales se encuentra dentro del rango que presentan las variedades comerciales (0 a 0.06 %), adecuado para el consumo directo.

Tabla 26

Accesiones del grupo 1 como posibles materiales promisorios.

Accesiones	Alt (cm)	LHj(cm)	Rto (g)	DIC	%Spn	P100s	CPrcp
ECU-238	211.8	9.37	26.36	150	0.01	0.22	Naranja amarrillento
ECU-283	141.8	6.42	30.77	132	0.05	0.17	Naranja amarrillento
ECU-27789	144.2	9.15	64.42	155	0.32	0.25	Naranja amarrillento

Nota. Alt: Altura de la planta, Rto: Rendimiento de semilla en gramos/planta, DIC: Días al inicio de cosecha, % Spn: Porcentaje de saponinas, P100s: Peso de 100 semillas, CPrcp: Color del pericarpio.
.

4.8.2 Materiales promisorios identificados del Grupo 2

En el Grupo 2 las accesiones más destacadas por sus atributos agronómicos se describen en la Tabla 27. Las accesiones de este grupo presentan rendimientos (entre 20 g y 26 g de semillas por planta) en un rango similar a los registrados por variedades comerciales. Además, las accesiones ECU-237, ECU-304, ECU-272, ECU-243 son materiales precoces (de 122 días hasta la cosecha) con ciclos de cultivo menores en comparación con la variedad INIAP Pata de Venado, la más precoz, que alcanza la etapa de cosecha a los 130 días después de la siembra (Peralta et al., 2013). Esta característica permitiría tener un mayor número de ciclos por año.

Tabla 27

Accesiones del grupo 2 como posibles materiales promisorios.

Accesiones	Alt (cm)	LHj	Rto (g)	DIC	%Spn	P100s	CPrcp
ECU-237	130.7	6.43	20.14	110	0.17	0.27	Naranja amarillento
ECU-304	146.2	8.13	22.08	122	0.11	0.19	Marrón amarillento
ECU-272	160.9	6.90	23.42	122	0.25	0.21	Naranja amarillento
ECU-243	142.7	6.80	26.22	110	0.21	0.20	Naranja amarillento
ECU-290	155.9	7.81	26.56	144	0.12	0.16	Naranja amarillento

Nota. Alt: Altura de la planta, Rto: Rendimiento de semilla en gramos/planta, DIC: Días al inicio de cosecha, %Spn: Porcentaje de saponinas, P100s: Peso de 100 semillas, CPrcp: Color del pericarpio.

4.8.3 Materiales promisorios identificados del Grupo 3

Las accesiones identificadas como promisorias en el Grupo 3 destacan por tener rendimientos superiores (de 36 a 73 g de semilla por planta) a los presentados por las accesiones comerciales liberadas por el INIAP (entre 13 y 25 g de semilla por planta) y un peso de 100 semillas entre 0.22 g y 0.26 g, siendo similar al de dichas variedades (Tabla 28 y Tabla 25). Por otro lado, estas variedades se clasifican como semitardías con ciclos de cultivo entre los 155 y 176 días al inicio de la cosecha, mientras que la variedad INIAP Cochasquí de mayor rendimiento tiende a tener un ciclo de cultivo más tardío de entre 160 y 220 días (Nieto et al., 1986b). Además, las accesiones de este grupo presentan hojas grandes (< 9 cm de longitud) con usos potenciales para la alimentación o como materia prima para la industria.

En general, las accesiones identificadas como promisorias en este estudio se caracterizan por ser plantas altas de hojas grandes con un alto contenido de saponinas, además de presentar una amplia variabilidad de colores de tallos, panoja y semillas. Hussain et al. (2021) mencionan que las hojas jóvenes de quinua son aptas para el consumo humano antes de la etapa de floración, debido a su alto valor nutricional rico en vitaminas, minerales y proteínas. Además, los tallos presentan un alto contenido de pectina y celulosa, pudiendo emplearse en la industria de la fabricación de papel y cartón.

Tabla 28

Accesiones del grupo 3 como posibles materiales promisorios.

Accesiones	Alt (cm)	LHj	Rto (g)	DIC	%Spn	P100s	CPrcp
ECU-27784	218.7	10.57	36.61	176	0.15	0.26	Marrón amarillento
ECU-27787	159.15	9.07	39.30	155	0.30	0.24	Naranja amarillento
ECU-27194	190.9	9.92	49.39	167	0.55	0.24	Rosa azulado y naranja amarillento
ECU-27401	146.3	9.64	69.27	155	0.58	0.22	Naranja amarillento
ECU-27195	200.4	9.38	73.93	167	0.21	0.23	Marrón amarillento

Nota. Alt: Altura de la planta, Rto: Rendimiento de semilla en gramos/planta, DIC: Días al inicio de cosecha, %Spn: Porcentaje de saponinas, P100s: Peso de 100 semillas, CPrcp: Color del pericarpio.

Por otro lado, Escribano et al. (2017) indican que las saponinas de este pseudocereal presentan actividad antiinflamatoria y anticancerígena con potenciales usos para la industria farmacológica. Asimismo, Jacobsen et al. (2003) mencionan que los pigmentos vegetales presentes en la quinua, especialmente las betalaínas, que contribuyen a la coloración roja, morada y amarilla de distintos órganos de la planta, poseen un alto potencial para su utilización como colorantes en la industria alimentaria y textil. Además, dichos pigmentos presentan actividad antioxidante (Hinojosa et al., 2018).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la evaluación de las 72 accesiones de quinua se evidenció una amplia variabilidad en los caracteres relacionados con el rendimiento y el contenido de saponinas, observados a través de los coeficientes de variación del 63 % y 90 %, respectivamente. De igual manera, se identificó un elevado nivel de diversidad en lo que respecta a caracteres morfológicos, principalmente en la coloración expresada en los diferentes órganos de la planta. Mientras que existió una mayor estabilidad en el comportamiento fenológico de las accesiones, con coeficientes de variación menores al 20 %.

En cuanto al análisis de conglomerados de la colección evaluada, evidenció la formación de tres grupos, de los cuales el grupo 3 presentó características agronómicas y productivas sobresalientes, especialmente en rendimiento con valores mayores a los registrados por variedades comerciales. En este grupo se destacaron las accesiones ECU-27784, ECU-27787, ECU-27194 y ECU-27195; además, se identificaron como promisorias las accesiones ECU-238, ECU-283, ECU-27789 del grupo 1, y ECU-243, ECU-290 del grupo 2, tanto por su rendimiento como por presentar una susceptibilidad media mildiu, contribuyendo con materiales de interés para incluirse en futuros programas de fitomejoramiento.

Por otro lado, las accesiones del grupo 3, cuya etapa reproductiva se extendió durante 108 días desde la formación del botón floral hasta el inicio de la cosecha, presentaron un rendimiento promedio de 27.6 gramos de semilla por planta. Este valor fue mayor al registrado por los grupos 1 y 2, cuyas etapas reproductivas tuvieron una duración de 83 y 67 días respectivamente, y alcanzaron rendimientos de 17.6 y 15.4 gramos de semilla por planta.

Finalmente, con respecto a la severidad de plagas y enfermedades en la colección evaluada, se identificó que los materiales de los grupos 1 y 2, correspondientes a ciclos de cultivo semiprecoces y precoces, presentan una mayor susceptibilidad a mildiu y una mayor presencia de trips. Mientras que el grupo 3, caracterizado por un ciclo de cultivo semitardío, presentó una susceptibilidad media a mildiu y una baja presencia de trips.

5.2 Recomendaciones

- Validar el potencial productivo de las accesiones identificadas como promisorias, a través de nuevos ciclos de cultivo a fin de evaluar su estabilidad en rendimiento, adaptabilidad y comportamiento agronómico bajo las condiciones edafoclimáticas de Chaltura.
- Fomentar la investigación y el aprovechamiento de la quinua, no solo en la industria alimentaria, promoviendo estudios orientados a su aplicación en las industrias farmacéutica, cosmética y papelera, considerando la presencia de compuestos bioactivos, metabolitos y polisacáridos de interés industrial.
- Realizar investigaciones complementarias sobre la composición química y los compuestos bioactivos presentes en las accesiones evaluadas, con énfasis en la identificación de materiales con potencial farmacológico.
- Incorporar las accesiones que presentaron características agronómicas sobresalientes, tales como alto rendimiento, precocidad y adaptabilidad, en programas de mejoramiento genético, a fin de desarrollar nuevas variedades que contribuyan al fortalecimiento de la producción de quinua en el Ecuador.
- Determinar la posible relación entre el contenido de saponinas y la respuesta de las accesiones de quinua frente a plagas y enfermedades, a fin de identificar materiales para ser usados en programas de fitomejoramiento e impulso de su producción con fines alimentarios.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

AGROCALIDAD. (2015). *Guía de buenas prácticas agrícolas para quinua* (RESOLUCIÓN 0104).

Ajhuacho, A., & Baldivieso, M. (2024). *Requerimientos edáficos y climáticos del cultivo de la quinua: guía técnica*. Ineinesad (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo). https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/618aa605-6e4d-4a17-ae91-04be53e5903c/content

Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönninger, S. & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): an overview of the potentials of the "Golden Grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods (Basel, Switzerland), 9*(2), 216. https://doi.org/10.3390/foods902021

Basantes, E., Alconada, M. & Pantoja, J. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) production in the Andean Region: challenges and potentials. *Journal of Experimental Agriculture International*, *36*(6), 1–18. https://journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/1447/2897

Biondi, S., Ruiz, K., Martínez, E., Zurita, A., Orsini, F., Antognoni, F., Dinelli, G., Marotti, I., Gianquinto, G., Maldonado, S., Burrieza, H., Bazile, D., Adolf, V., & Jacobsen, S. (2014). Tolerancia a condiciones salinas. En Bazile et al. (Eds.), "*Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013"* (pp. 167–184). FAO (Santiago de Chile) y CIRAD. https://openknowledge.fao.org/items/20c09020-2ab1-4eed-b3ed-22c684c52351

Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF & FIDA. (2013). *Descriptores para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres.* Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/0de7c382-30cd-4263-8a70-b5933bb83bb0/content

Borja, E. & Tapia, C. (2008). *Caracterización morfoagronómica de 244 accesiones de maní (Arachis hypogaea* L.*) del INIAP, Ecuador*. Quito, EC: INIAP, Estación

Experimental Santa Catalina. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/866/1/iniapscP.B734c2007.pdf

Calla, J. (2012). *Manejo agronómico del cultivo de quinoa*. OAEPS-UNALM. https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-b-quinua.pdf

Campos, E., Bravo, R., Valdivia, R., & Soto, J. (2012). Plagas insectiles en áreas de intensificación de quinua en Puno. *CienciaAgro*, *3*(2), 379–390. http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v2n3/v2n3a06.pdf

Campos-Rodríguez, J., Acosta-Coral, K. & Paucar-Menacho, L. (2022). Quinua (*Chenopodium quinoa*): composición nutricional y componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, *13*(3), 1–12. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019

Castro-Albán, H., Castro-Gómez, R. & Alvarado-Capó, Y. (2023). Variabilidad morfoagronómica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) nativa tipo Chimborazo en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, *34*(3). https://www.researchgate.net/publication/372307318_Variabilidad_morfoagronomica_de_quinua_Chenopodium_quinoa_Willd_nativa_tipo_Chimborazo_en_Ecuador

Centro Internacional de la Quinua. (2022). Plan Estratégico Institucional 2021-2025. https://ciq.org.bo/wp/wp-content/uploads/2025/10/DOC.-PEI-CIQ-2021-2025.pdf

Colque-Little, C., Amby, D. B., & Andreasen, C. (2021). Una reseña de *la quinoa de Chenopodium* (Willd.) Enfermedades: una perspectiva actualizada. *Plantas (Basilea, Suiza), 10*(6), 1228. https://doi.org/10.3390/plants10061228

Craine, E., Davies, A., Packer, D., Miller, N., Schmöckel, S., Spalding, E., Tester, M. y Murphy, K. (2023). A comprehensive characterization of agronomic and end-use quality phenotypes across a quinoa world core collection. *Front. Plant Sci. 14*. 1101547. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1101547

Cruces, L., & Callohuari, Y. (2016). *Guía de identificación y control de las principales plagas que afectan a la quinua en la zona andina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(FAO). https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2c4e16ec-5d41-4336-8c22-902734a4493a/content

Curti, R. N., Andrade, A. J., Bramardi, S. J., Velásquez, B., & Bertero, H. D. (2012). Eco-geographic structure of phenotypic diversity in cultivated populations of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina. *Annals of Applied Biology, 160(*2), 114–125. doi:10.1111/j.17447348.2011.00524.x

Delgado, A. (2022). *Biodiversidad y conservación de variedades locales de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y ataco (Amaranthus quitensis Kunth) en la región andina de Ecuador* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio oa.upm.es. https://oa.upm.es/73431/1/ANGELICA_HIPATIA_DELGADO_PILLA.pdf

Delgado, A., Palacios, J., & Betancourt, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (Chenopodium quinoa Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, *27*(2), 159–167. https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316234004.pdf

Delgado, H., Tapia, C., Borja, E., & Martín, C. (2019). Variación de la agrodiversidad en variedades tradicionales de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de la región andina de Ecuador. En *VII Congreso Mundial de la Quinua y Otros Granos Andinos, Chile 2019* (pp. 1–16). Ministerio de Agricultura, INDAP, Pontificia Universidad Católica de Chile, ODEPA. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5572/1/iniapRCMQ2019V.pdf

Delgado, P., Goyzueta, W., Castro, J., Loza, A., & Chura, E. (2020). *Manual técnico: Plagas de la quinua, manejo integrado para una agricultura sostenible y resiliente*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1140

Escribano, J., Cabanes, J., Jiménez, J., Ibañez, M., Gómez, L., García, F., & Gandía, F. (2017). Characterization of betalains, saponins and antioxidant power in differently colored quinoa (*Chenopodium quinoa*) varieties. *Food Chemistry*, *234*, 285–294. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Estrada, R., Apaza, V., Pérez, A., Altamirano, A., Neyra, E., & Bobadilla, L. (2020). Comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa*

Willd.) en el Perú. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *9*(1), 1–13. https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3134

Flores, J. V., Alanya, Y. E., Chilquillo, M. D., Chávez, V., Cusiatado, G. E., Sarmiento Palomino, R. J., Pujaicom, G., y Risco, A. (2010). *Programa modular para el manejo técnico del cultivo de quinua*. Solid OPD. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1908165/TECNOLOG%C3%8DA%20PRODUCTIVA%20DE%20LA%20QUINUA.pdf.pdf?v=1621873881&utm

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture.* FAO. https://doi.org/10.4060/i3704e

Franco, T. L., & Hidalgo, R. (2003). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

Franco, A., Arias, S., Anaya, S., & Muñoz, D. (2020). Perspectivas tecnológicas y nutricionales de la quinua (*Chenopodium quinoa*): un pseudocereal andino funcional. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, *27*(3), 229–235. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/995e16a7-3aef-44a1-bd9d-b41828f44dbe/content

Fundación para la Promoción e Investigación en Productos Andinos. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. FAO. https://www.fao.org/4/aq287s/aq287s.pdf

Gandarillas, A., Saravia, R., Plata, G., Quispe, R., & Ortiz, R. (2014). Principales plagas y enfermedades de la quinua. En Bazile et al. (Eds.), "*Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013"* (pp. 227–255). FAO (Santiago de Chile) y CIRAD. https://openknowledge.fao.org/items/20c09020-2ab1-4eed-b3ed-22c684c52351

García, M. & Plazas, N. (2018). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los sistemas de producción agraria. *Producción + Limpia*, *13*(1), 1–6. https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a6

Global Biodiversity Information Facility (GBIF) Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset https://doi.org/10.15468/39omei accessed via GBIF.org on 2026-04-11

Gobierno municipal de Antonio Ante. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019.

Gómez, L., y Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de quinua.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.bivica.org/files/quinua-cultivo-guia.pdf

Gonzáles, J., & Prado, F. (2013). Quinoa: aspectos biológicos, propiedades nutricionales y otras consideraciones para su mejor aprovechamiento. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*, (5). https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/CONICETDig_4432f242834113bad4cde5a6a84e4565

Goretzko, D., & Bühner, M. (2022). Retención de factores usando aprendizaje automático con datos ordinales. *Medición Psicológica Aplicada*, *46*(5), 406-421. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/01466216221089345

Guerrero, A. (2018). *Impacto del cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa* Willd.*) como alternativa productiva y socioeconómica en la comunidad indígena Yanacona de La Vega, Cauca, Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio unal. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63952/2018-Angelica_Guerrero_Lopez.pdf?sequence=1

Guerrón, F. (2016). Evaluación de la productividad y calidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a partir de dos orígenes de material de siembra en la sierra central del Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas]. Repositorio dspace.udla.edu.ec https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/6161/4/UDLA-EC-TIAG-2016-23.pdf?utm_source=chatgpt.com

Hinojosa, L., González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., y Murphy, K. M. (2018). Respuestas al estrés abiótico de la quinua: una revisión. *Plantas (Basilea, Suiza)*, *7*(4), 106. https://doi.org/10.3390/plants7040106

Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A., Ishaq, A., Al-Ghamdi, A. A., & Hatamleh, A. A. (2021). Botánica, valor nutricional, composición fitoquímica y actividades biológicas de la quinoa. *Plantas (Basilea, Suiza)*, *10*(11), 2258. https://doi.org/10.3390/plants10112258

Ilbay, D. (2020). *Caracterización morfológica y agronómica de doscientos cuarenta ecotipos de quinua (Chenopodium quinoa* Willd.*) de panoja roja, tipo*

Chimborazo [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio dspace. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14126/1/13T00920.pdf

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Quinua. Determinación del contenido de saponinas por medio del método espumoso (método de rutina) NTE INEN 1672:2013* (AG 05.04-317). INEN. https://drive.google.com/file/d/1bQqxdXv-Ba7rRFdqEalDU4mzR75FQ36x/view?pli=1

Jacobsen, S. E., Mujica, A., & Ortiz, R. (2003). *The global potential for quinoa and other Andean crops*. *Food Reviews International, 19*(1–2), 139–148.

Jacobsen, S. & Sherwood, S. (2002). *Cultivo de granos andinos en Ecuador*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Centro Internacional de la Papa (CIP) y Catholic Relief Services (CRS). https://urkuwayku.com/wp-content/uploads/2021/09/Cultivo-de-granos-andinos-en-Ecuador-2002.pdf

Jacobsen, S., & Risi, J. (2001). Distribución geográfica de la quinua fuera de los países andinos. En Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo,J.y Marathee, J. (Eds.), "*Quinua (Chenopodium quinoa* Willd.): *Quinoa ancestral cultivo de los Andes"* (pp. 49–58). FAO, Centro Internacional de la Quinoa. https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/16-LIBRO-Quinua-ancestral-cultivo-de-los-andes-r-miranda.pdf

Jarvis, D. E., Ho, Y. S., Lightfoot, D. J., Schmöckel, S. M., Li, B., Borm, T. J. A., Ohyanagi, H., Mineta, K., Michell, C. T., Saber, N., Kharbatia, N. M., Rupper, R. R., Sharp, A. R., Dally, N., Boughton, B. A., Woo, Y. H., Gao, G., Schijlen, E. G. W. M., Guo, X., & Tester, M. (2017). The genome of Chenopodium quinoa. *Nature*, *542*(7641), 307-312. https://doi.org/10.1038/nature21370

Li, G., Meng, X., Zhu, M., y Li, Z. (2019). Progreso en la investigación de la betalana en respuesta a tensiones adversas y relación evolutiva en comparación con la antocianina. *Molecules*, *24*(17), 3078. https://doi.org/10.3390/molecules24173078

Li, J., Niu, S., Wei, J., Chang, L., Zhifei, T., Zheng, L., Mu, W., & Sun, X. (2026). Integrated metabolite profiling and transcriptomic analysis reveal mechanisms

underlying quinoa inflorescence color. *BMC Plant Biol*, 1-46. https://doi.org/10.1186/ s12870-026-08755-9

Mamani, E. R., Bonifacio, A., Taboada, G. C., & Angulo, F. R. (2022). Determinación de la pureza y calidad de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) dulce y amarga de variedades comerciales, en Viacha–La Paz. *CIBUM Scientia, 1*(1), 71–75. https://doi.org/10.53287/qdjk7329or48t

Mangwende, E., Safari, S., Lepage, Z., Askarian, H., Akhavan, A., & Yost, C. (2025). First report of Sclerotinia stem rot on quinoa (*Chenopodium quinoa*) caused by *Sclerotinia sclerotiorum* in Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1715–2990. https://doi.org/10.1080/07060661.2025.2545934

Manjarres, E., Morillo, A., Ojeda, Z., Cárdenas, A. y Arias, D. (2021). Characterization of the yield components and selection of materials for breeding programs of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Euphytica, 217,* 1-14. https://doi.org/10.1007/s10681-021-02837-5 89().,-volV)

Mazón, N., Rivera, M., Peralta, E., Estrella, J. & Tapia, C. (2001). *Catálogo del banco de germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa* Willd*.) de INIAP-Ecuador*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2810

Mestanza, C., Coronel, J., Véliz, D., & Vásconez, E. (2023). Determinación del contenido de saponina y de proteína en genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) producidos en la costa central de Ecuador. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, *52*(3), 1302–1319. https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n3.110445

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2025). *Boletín situacional de la quinua 2024*. Subsecretaría de Información y Fomento de Comercialización Agropecuaria.

Montes-Rojas, C., Burbano-Catuche, G., Muñoz-Certuche, E. & Calderon, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de *Chenopodium quinoa* Willd., en Puracé – Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *16*(2), 26–37. https://www.redalyc.org/pdf/3808/380878985003.pdf

Morrillo, A., Castro, M. & Morrillo, Y. (2017). Caracterización de la diversidad genética de una colección de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Biotecnología en el*

Sector Agropecuario y Agroindustrial, *15*(2), 49–56. https://doi.org/10.18684/BSAA(15)49-56

Mujica, A. (2015). El origen de la quinoa y la historia de su domesticación. *Tierra Adentro*, (108), 4–17. https://hdl.handle.net/20.500.14001/5408

Mujica, A., Canahua, A., & Saravia, R. (2001). Agronomía del cultivo de la quinua. En Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo,J.y Marathee, J. (Eds.), "*Quinua (Chenopodium quinoa* Willd.): *Quinoa ancestral cultivo de los Andes"* (pp. 20–48). FAO, Centro Internacional de la Quinoa. https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/16-LIBRO-Quinua-ancestral-cultivo-de-los-andes-r-miranda.pdf

Murillo, Á., Vega, L., Rodríguez, D. y Yumisaca, F. (2023). *Manual del cultivo de quinua* (*Chenopodium quinoa* Willd.) *en Ecuador*. Manual de cultivo No. 130. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 57 p.

Murillo, A., Peralta, E., Pinzón, J., Mazón, N., & Rivera, M. (2002). *Caracterización de accesiones de quinua del Banco de Germoplasma de INIAP en Ecuador* (Informe anual de subproyectos). PREDUZA. https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/147e7906-d2c4-4294-ad7a-a5fc2fce8e1f/content

Nguyen, V., Luu, H., Phan, T., Nguyen, V., Chu, D., Bertero, D., Curti, N., McKeown, P. & Spillane, C. (2024) Genotype by environment interaction across water regimes in relation to cropping season response of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *PLoS ONE 19*(10), 1-17. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0309777

Nieto, C., Castillo, R. & Peralta, E. (1986a). *Guía para la producción de semilla de quinua*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, 1986. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/258

Nieto, C., Peralta, E., & Castillo, R. (1986b). *"INIAP – Imbaya" e "INIAP – Cochasqui", primeras variedades de quinua para la sierra ecuatoriana* (Boletín divulgativo Nro. 187). INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/e64f52a3-cd2b-43a0-ac8f-71d1d14f49a3/content

Nieto, C., Vimos, C., Monteros, C., Caicedo, C., & Rivera, M. (1992). *INIAP-ingapirca e INIAP-tunkahuan dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina*. INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/270/4/iniapscbd228.pdf

Ochoa, J., & Peralta, E. (1988). Evaluación preliminar morfológica y agronómica de 153 entradas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en Quito, Pichincha. En *VI Congreso internacional sobre cultivos andinos* (pp. 1–7). INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/6658ecd8-6b58-4155-86db-402537c7072d/content

Ortiz, R., Danielsen, S., Ames, T. & Castro, A. (2001). Plagas y enfermedades. En Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo,J.y Marathee, J. (Eds.), "*Quinua (Chenopodium quinoa* Willd.): *Quinoa ancestral cultivo de los Andes"* (pp. 73–93). FAO, Centro Internacional de la Quinoa. https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/16-LIBRO-Quinua-ancestral-cultivo-de-los-andes-r-miranda.pdf

Peralta, E., Mazón, N., Murillo, A., Villacrés, E. y Rivera, M. (2013). Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: chocho, quinua, amaranto y sangorache, para la sierra ecuatoriana. Publicación Miscelánea No. 151, (3ra Ed.). Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos del INIAP.

Peralta, E., INIAP y Mazón, N. (2014). La quinua en Ecuador. En Bazile et al. (Eds.), "*Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013"* (pp. 462–476). FAO (Santiago de Chile) y CIRAD. https://openknowledge.fao.org/items/20c09020-2ab1-4eed-b3ed-22c684c52351

Quispe, J. (2021). *Progenies autofecundadas s5 de la quinua: un estudio de características agromorfológicas y moleculares*. Universidade do Contestado. https://uni-contestado-site.s3.amazonaws.com/site/biblioteca/ebook/Julio%20-%20PROGENIES%20AUTOFECUNDADAS%20S5%20DE%20LA%20QUINUA.pdf

Ranjan, S., Sow, S., Ghosh, M., Padhan, S. R., Kumar, S., Gitari, H., y Nath, D. (2023). Propiedades nutracéuticas y metabolitos secundarios de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): una revisión. *Revista Internacional de Propiedades Alimentarias*, *26*(2), 3477–3491. https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2286895

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2010). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa *(Chenopodium quinoa)* and kañiwa *(Chenopodium pallidicaule)*. *Food Reviews International, 19*(1), 179–189. http://dx.doi.org/10.1081/FRI-120018884

Rizwan, B., Noreen, S., Mubarik, F., Attique, A., Naeem, M., Siddiqa, A., Farooq, F. & Mehmood, A. (2020). Quinoa: A nutritive and health perspective. *International Journal of Biosciences*, *17*(2), 169–178. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/17.2.169-178

Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. (2022). Diversificación de cultivos y su impacto económico en las fincas ecuatorianas. *Revista Científica Zambos, 1*(1), 51-68. https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec/index.php/home/article/view/21?utm_source

Rojas, W., Soto, J., Pinto, M., Jager, M., & Padulosi, S. (2010). *Granos Andinos Avances: logros y excepciones en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International. https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/d682256b-4730-4d42-a160-c93149daaa36/content

Romero, A. (2018). *Evaluación de fuentes de abonos orgánicos para la producción de quinua (Chenopodium quinoa* Willd.*) en tres comunidades de la provincia de Imbabura* [Tesis de tercer nivel, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio unt.edu.ec. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8208

Salazar, E., Zamora, M., & Sánchez, J. (2024). Estrategia comercial para potencializar la competitividad de las exportaciones de quinua ecuatoriana frente a las de Perú en el 2023. *Ciencia Latina*, *8*(1), 1–24. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10214

Sanchéz, S. (2020). *Caracterización genotípica por rapds y morfométrica de diferentes accesiones de quinua (Chenopodium quinoa* Willd.*) de la zona centro del Ecuador.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica De Ambato] Repositorio uta.edu.ec https://repositorio.uta.edu.ec/items/4864bef8-cd1d-46c9-ba29-e1d88e2de1a7

Soca, M., Vergara, C., Callohuari, Y. y Chávez, A. (2022). Insectos fitófagos asociados al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en invierno y sus controladores biológicos. *Manglar, 19*(2), 143–151. http://doi.org/10.17268/manglar.2022.018

Stanschewski, C., Rey, E., Fiene, G., Craine, E., Wellman, G., Melino, V., Patiranage, D., Johansen, K., Schmöckel, S., Bertero, D., Oakey, H., Colque-Little, C., Afzal, I., Raubach, S., Miller, N., Streich, J., Amby, D., Emrani, N., Warmington, M. & Mousa, M. (2021). Metodologías de fenotipado de la quinoa: un consenso internacional. *Plants (Basilea, Suiza), 10*(9), 1759. https://doi.org/10.3390/plants10091759

Tapia, M. & Aroni, G. (2022). Tecnología del cultivo orgánico de la quinua. En Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo,J.y Marathee, J. (Eds.), "*Quinua (Chenopodium quinoa* Willd.): *Quinoa ancestral cultivo de los Andes"* (pp. 59–72). FAO, Centro Internacional de la Quinoa. https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/16-LIBRO-Quinua-ancestral-cultivo-de-los-andes-r-miranda.pdf

Thiam, E., Allaoui, A., & Benlhabib, O. (2020). Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. *Plants*, *10*, 1–14. https://doi.org/10.3390/plants10040714

Urdanegui, P., Pérez, A., Estrada, R., Neyra, E., Mujica, A. & Corredor, F. (2021). Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Huancayo, Perú. *Agroindustrial Science*, *11*(1), 63–71. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.08

Vargas, P., Arteaga, R., & Cruz, L. (2018). Análisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento funcional. *Centro Azúcar*, *46*, 1–12. http://centroazucar.uclv.edu.cu

Veas, E., & Cortés, H. (2016). *Manual del cultivo de la quinoa*. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). https://ceaza.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-de-la-quinoa_FINAL.pdf

Vega, A., Zura, L., Lutz, M., Aguero, V., Pasten, A., Di, K., Uribe, E., & Jagus, R. (2018). Assessment of dietary fiber, isoflavones, and phenolic compounds with antioxidant and antimicrobial properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Chilean J. Agric. Anim. Sci.*, *34*(1), 57–67. https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v34n1/0719-3890-chjaasc-00101.pdf

Villacrés, E., Silva, E., Cuadrado, L., Álvarez, J., & Quelal, M. (2014). *La riqueza oculta de las hojas de quinua (Chenopodium quinoa* Willd.*)* (Boletín técnico Nro. 166). INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/0358a54f-1265-41a8-9f52-fb727451846f/content

Walters, C., Wheeler, L. M., & Grotenhuis, J. M. (2005). Longevity of seeds stored in genebanks: Species characteristics. *Seed Science Research, 15*(1), 1–20. https://doi.org/10.1079/SSR2004195

Wang, X., Ren, X., Zhang, S., Liu, J., Chen, X., & Li, Y. (2021). Evaluating quinoa stem lodging susceptibility by a mathematical model and the finite element method under different agronomic practices. *Field Crops Research, 271*, 108241. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108241

Zhang, Z., Wang, Y., Hu, X., Yu, T., Feng, Y., Zhang, J., Zhang, T., Feng, G., & Zhang, H. (2026). Genomic structural variation underlies cell type-specific betacyanin variegation in *Chenopodium quinoa*. *Stress Biology*, *6*(15), 1–9. https://doi.org/10.1007/s44154-025-00284-z

Zurita, A., Jacobsen, S. E., Razzaghi, F., Alvarez, R., Ruiz, K., Morales, A., y Silva, H. (2015). Quinoa drought responses and adaptation. En D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *State of the art report on quinoa around the world in 2013* (pp. 157–168). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

ANEXOS

Anexo 1

Distribución de las 72 accesiones de quinua en tres grupos de acuerdo con el agrupamiento jerárquico de Ward y el origen de cada material.

Accesión	Grupo	Año de ingreso	Provincia	Cantón	Parroquia
ECU-27789	1	2015	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-214	1	2009			
ECU-216	1	2009	Imbabura	Otavalo	San Rafael
ECU-217	1	2009	Pichincha	Quito	Kennedy
ECU-218	1				
ECU-219	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-226	1	2009	Carchi	Mira	Mira
ECU-227	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-230	1	2022	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-231	1	2022	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-233	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-238	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-240	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-250	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-252	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-258	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-259	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-260	1	2022	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-261	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-262	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-263	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-267	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-268	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-269	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-276	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-283	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-314	1	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-215	2	2009	Chimborazo		
ECU-237	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-242	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-243	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-245	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-247	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-248	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-249	2	2009	Imbabura	Ibarra	San Miguel de Ibarra
ECU-272	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-275	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-290	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua

ECU-292	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-296	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-297	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-299	2	2022	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-303	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-304	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-312	2	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-498	2	2002	Pichincha	Cayambe	Olmedo
ECU-27192	3	2017	Chimborazo	Colta	Santiago de Calpi
ECU-27193	3	2017	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27194	3	2017	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27195	3	2017	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27230	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27231	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27232	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27233	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU- 27234	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27235	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27236	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27237	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27238	3	2015	Chimborazo	Colta	Cajabamba
ECU-27239	3	2015	Chimborazo	Riobamba	Santiago de Calpi
ECU-27401	3	2017	Imbabura	Pimampiro	Mariano Acosta
ECU-27402	3	2017	Imbabura	Cotacachi	Cumbas Conde
ECU-27403	3	2017	Imbabura	Cotacachi	Cumbas Conde
ECU-27783	3	2015	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-27784	3	2015	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-27785	3	2015	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-27787	3	2014	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-220	3	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-223	3	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-253	3	2009	Pichincha	Mejía	Cutuglahua
ECU-255	3	2009	Pichincha	Pedro Moncayo	Tabacundo
ECU-490	3	2001	Carchi	Espejo	La Libertad