UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

CARACTERIZACIÓN DE 208 ACCESIONES DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIAP

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

AUTOR/A:

Sayda Anabel Cuasque Chuquin

DIRECTOR/A:

Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores PhD.

Ibarra, julio de 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

CARACTERIZACIÓN DE 208 ACCESIONES DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) **PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIAP**

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

INGENIERO/A AGROPECUARIO/A

APROBADO:

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

Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD. _____

DIRECTORA FIRMA

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

Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc. _____

ASESORA FIRMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

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:	Cuasque Chuquin Sayda Anabel

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Caracterización de 208 accesiones de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes del Banco de Germoplasma de INIAP
AUTOR :	Cuasque Chuquin Sayda Anabel
FECHA: DD/MM/AAAA	20/07/2026
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de julio de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
SAYDA ANABEL
CUASQUE CHUQUIN

.....

Cuasque Chuquin Sayda Anabel

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cuasque Chuquin Sayda Anabel

Ibarra a los 20 días del mes de julio de 2026

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

……

Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 20 días del mes de julio de 2025

Cuasque Chuquin Sayda Anabel: CARACTERIZACIÓN DE 208 ACCESIONES DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIAP / Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 20 días del mes de julio de 2026, 79 páginas.

DIRECTOR (A): Ing. Doris Salomé Chalampuente Flores, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Caracterizar 208 accesiones de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes del Banco de Germoplasma de INIAP. Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Evaluar las características morfoagronómicas de 208 accesiones de frejol de la colección nacional del INIAP
- Identificar materiales promisorios dentro de la colección de fréjol evaluada bajo las condiciones agroclimáticas de Chaltura.

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

…….

Ing. Doris Chalampuente Flores, PhD.

Directora de trabajo de grado

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
SAYDA ANABEL
CUASQUE CHUQUIN

……..

Cuasque Chuquin Sayda Anabel

Autora

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, institución que me acogió y me permitió crecer tanto en el ámbito profesional como en el personal. En sus aulas viví momentos llenos de alegría y dificultades, aprendizajes, fracasos y logros que formaron parte de mi formación profesional.

Mi profundo agradecimiento a mi directora de tesis, Dra. Doris Chalampuente, por su valiosa guía, su profesionalismo, paciencia y dedicación. Sus conocimientos, observaciones y acertadas sugerencias fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Agradezco también la confianza y el apoyo brindados durante este proceso.

De igual manera, agradezco al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y al Banco Nacional de Germoplasma del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) por facilitar el material genético que fue evaluado en la Granja Experimental La Pradera, permitiendo la ejecución de esta investigación. A Fondos de Investigación para la Agrobiodiversidad, semillas y Agricultura Sostenible (FIASA), por el apoyo brindado para el desarrollo del presente estudio.

Finalmente, expreso un especial agradecimiento a mi asesora, MSc. Ima Sánchez, por su disposición para orientar y fortalecer mi formación profesional. Y también, a todo el cuerpo docente, por compartir sus conocimientos, experiencias y valores. Su dedicación, compromiso y vocación fueron fundamentales en cada etapa del proceso de aprendizaje.

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este logro a mis queridos padres, Luis Cuasque y María Chuquin, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y el ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Gracias por cada sacrificio realizado, por su confianza, sus consejos y por brindarme siempre su apoyo en cada paso de mi formación académica y personal. Este logro es también el reflejo de sus enseñanzas y del inmenso amor con el que me han acompañado en este camino.

A mis queridos hermanos, Leidy Cuasque y Romel Cuasque, por su cariño, comprensión y constante motivación. Gracias por estar presente en cada etapa de mi vida, por compartir conmigo en momentos de alegría y de dificultad, por creer en mí y por impulsarme a seguir adelante para alcanzar mis sueños.

A ustedes, mi familia, les dedico este trabajo con todo mi corazón, porque han sido mi mayor fortaleza y la principal inspiración para culminar esta importante etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNIDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xiii
RESUMEN xv
ABSTRACT xvi
CAPÍTULO I 17
INTRODUCCIÓN 17
1.1 Antecedentes 17
1.2 Problema de investigación 18
1.3 Justificación 19
1.4 Objetivos 19
1.4.1 Objetivo general 19
1.4.2 Objetivos específicos 19
1.5 HIPÓTESIS 20
CAPÍTULO II 21
2.1 Fréjol 21
2.1.1 Origen y distribución 21
2.2 Descripción taxonómica y morfológica 21
2.2.1 Descripción taxonómica 21
2.2.2 Morfología del fréjol 22
2.2.3 Etapas fenológicas del cultivo de fréjol 24
2.2.4 Principales plagas y enfermedades del cultivo de fréjol 25
2.3 Caracterización y evaluación de germoplasma vegetal 26
2.3.1 Tipos de descriptores 26
2.4 Estrategias de conservación de recursos fitogenéticos 27
2.4.1 Conservación In situ 27
2.4.2 Conservación Ex situ 27
2.5 Marco legal 28
CAPÍTULO III 30
MARCO METODOLÓGICO 30
3.1. Descripción del área de estudio 30

3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas 30
3.3.1 Factores en estudio 31
3.3.2 Diseño experimental 32
3.3.3 Características del experimento 33
3.3.4 Análisis estadístico 34
3.4 Variables y métodos para evaluar 34
3.4.1 Variables Cuantitativas 34
3.4.2 Variables cualitativas. 38
3.5 Manejo del experimento 42
3.5.1 Labores culturales 42
CAPÍTULO IV 45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
4.1 Caracterización morfoagronómica 45
4.1.1 Porcentaje de germinación 45
4.2 Días a cada etapa fenológica 46
4.2.1 Días a la emergencia 46
4.2.2 Días a la floración 47
4.2.3 Días a la madurez fisiológica 47
4.2.4 Días a la cosecha 48
4.3 Características de la arquitectura de la planta 48
4.3.1 Longitud de tallo 48
4.3.2 Longitud y ancho de la hoja (folíolo central) 49
4.4 Características de las vainas y semillas 49
4.4.1 Longitud y ancho de la vaina de fréjol 49
4.4.2 Semillas por vaina 50
4.4.3 Longitud y ancho de la semilla 50
4.5 Características de rendimiento 51
4.5.1 Peso de 100 semillas 51
4.5.2 Rendimiento por planta 52
4.5.3 Daño en postcosecha 52
4.6 Variabilidad morfológica de datos cualitativos presentes en la colección 53
4.6.1 Hábito de crecimiento presentes en la colección de fréjol del INIAP 53
4.6.2 Características de la flor del fréjol 53
4.6.3 Formas de la vaina de fréjol 54

4.6.4 Color de la vaina del fréjol al momento de la cosecha 55
4.6.5 Forma de la semilla 56
4.6.6 Colores de la semilla 57
4.7 Análisis de Componentes Principales (ACP) en la colección de fréjol 59
4.8 Análisis de agrupamiento de accesiones de fréjol del banco de germoplasma de INIAP. 62
4.9. Variabilidad de las características cuantitativas de la colección de fréjol a nivel grupal. 63
4.10 Caracteres cualitativos discriminantes 66
4.10 Identificación de morfotipos por grupos 66
4.10.1 Hábito de crecimiento 66
4.10.2 Color del órgano floral: alas, estandarte y quilla 67
4.10.3 Forma de la vaina y semillas 68
4.10.4 Color de la semilla de fréjol 69
4.11 Identificación de materiales promisorios 70
CAPÍTULO V 72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 72
5.1 Conclusiones 72
5.2 Recomendaciones 73

ÍNIDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Descripción de las partes de la hoja del fréjol*.....22

Figura 2 *Partes de la flor del fréjol* 23

Figura 3 *Diversidad de colores en las semillas del fréjol conservadas en Banco de Germoplasma del INIAP*.....23

Figura 4 *Hábitos de crecimiento presentes en la colección de fréjol de INIAP*.....24

Figura 5 *Mapa de ubicación del ensayo en la Granja Experimental La pradera, en Chaltura* 30

Figura 6 *Croquis del diseño experimental*.....33

Figura 7 *Descripción de la forma de medir la longitud del tallo del fréjol*.....35

Figura 8 *Forma de medir el folíolo central de la hoja* 36

Figura 9 *Medición de la longitud y ancho de las vainas* 37

Figura 10 *Medición de longitud y ancho de la semilla*.....38

Figura 11 *Hábito de crecimiento del fréjol*.....40

Figura 12 *Formas de la vaina del fréjol* 40

Figura 13 *Forma de la semilla de fréjol* 42

Figura 14 *Hábitos de crecimiento presentes en la colección* 53

Figura 15 *Colores del órgano floral presente en la colección de fréjol*.....54

Figura 16 *Porcentaje de las formas de las vainas de fréjol*.....55

Figura 17 *Formas de las vainas presentes en la colección* 55

Figura 18 *Color de las vainas del fréjol al momento de la cosecha*.....56

Figura 19 *Colores de las vainas presentes en la colección de fréjol*.....56

Figura 20 *Porcentaje de las formas de la semilla presentes en la colección* 57

Figura 21 *Colores de las semillas presentes en la colección nacional de fréjol* 58

Figura 22 *Variabilidad de colores de las semillas en la colección nacional de fréjol*.....58

Figura 23 *Colores secundarios presentes en la colección nacional de fréjol* 59

Figura 24 *Distribución de las variables originales sobre el primero y segundo componente en la caracterización de fréjol*.....60

Figura 25 *Distribución de las variables originales de accesiones sobre el segundo y tercer componente principal en la caracterización de la colección de fréjol*.....61

Figura 26 *Distribución de las variables originales sobre el primer y tercer componente principal en la caracterización de la colección de fréjol* 61

Figura 27 *Dendrograma obtenido del análisis de conglomerados para las 203 accesiones de fréjol* 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Descripción taxonómica del fréjol* 22
Tabla 2 *Etapas fenológicas del fréjol* 25
Tabla 3 *Principales plagas y enfermedades del cultivo de fréjol* 25
Tabla 4 *Descripción de los materiales utilizados* 31
Tabla 5 *Procedencia de los materiales evaluados y sus codificaciones* 32
Tabla 6 *Características del área experimental* 33
Tabla 7 *Descripción de agrupamientos de colores para las alas y estandarte de la flor de fréjol* 39
Tabla 8 *Descripción de colores para la quilla de la flor* 39
Tabla 9 *Descripción de colores de la vaina seca de fréjol* 40
Tabla 10 *Codificación de colores para la descripción de los colores de las semillas* 41
Tabla 11 *Descripción de colores por su matiz para las semillas del fréjol* 42
Tabla 12 *Descripción de fertilizantes y sus respectivas dosis utilizadas en el ensayo* 43
Tabla 13 *Detalles de los productos utilizados para el control fitosanitario* 44
Tabla 14 *Medidas resumen para las variables días a cada etapa fenológica del fréjol* 47
Tabla 15 *Características de la arquitectura de la planta de fréjol* 49
Tabla 16 *Medidas resumen para las características de la vaina y semilla* 50
Tabla 17 *Características de rendimiento* 52
Tabla 18 *Frecuencia de las características del color de la flor de fréjol* 54
Tabla 19 *Valores propios y proporción de la varianza explicada en análisis de componentes principales en la colección de fréjol de INIAP* 59
Tabla 20 *Vectores propios de los tres componentes principales en la caracterización de la colección de fréjol* 60
Tabla 21 *Lista de accesiones por grupos en la colección de germoplasma de INIAP* 63
Tabla 22 *Análisis de varianza para los conglomerados conformados en la colección de fréjol de INIAP* 64
Tabla 23 *Descriptores cualitativos discriminantes en la diferenciación morfológica de la colección de fréjol* 66
Tabla 24 *Características del hábito de crecimiento del fréjol de cada grupo* 67

Tabla 25 *Características de los colores del órgano floral del fréjol por grupo de conglomerado* 67

Tabla 26 *Características de formas de vainas y semillas por grupo* 68

Tabla 27 *Descripción de colores de las semillas presentes en cada grupo de conglomerado* 69

Tabla 28 *Materiales promisorios para los conglomerados* 71

CARACTERIZACIÓN DE 208 ACCESIONES DE FREJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) PROVENIENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIAP

Sayda Anabel Cuasque Chuquin

Universidad Técnica del Norte

Correo: sacuasquec@utn.edu.ec

RESUMEN

El Ecuador es reconocido por su alta diversidad agrícola y la riqueza genética de sus cultivos, entre los cuales el fréjol (Phaseolus vulgaris L.) desempeña un rol fundamental en la seguridad alimentaria. El objetivo de este estudio fue evaluar las características agronómicas y morfológicas de 208 accesiones de fréjol conservadas desde la década de 1980 en el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), colectadas principalmente en la provincia de Loja. La investigación se realizó en la Granja Experimental La Pradera, Chaltura, bajo un diseño completamente al azar. Los días a la emergencia variaron entre 5 y 11 días. Respecto al hábito de crecimiento, el 19.21 % fue arbustivo determinado, 54.18 % arbustivo indeterminado, 20.19 % semivoluble y 6.40 % voluble. Los días a floración oscilaron entre 42 y 89, la madurez fisiológica entre 75 y 142, y la cosecha entre 92 y 162 días. Se evidenció una amplia variabilidad genética, con diferencias fenológicas asociadas al hábito de crecimiento. No obstante, el peso de 100 semillas no mostró relación con este carácter, presentando un rango de 5.6 a 71 g. En cuanto a las características morfológicas, se identificaron flores de color blanco, rosa, púrpura y amarillo verdoso. Además, las semillas presentaron 11 tonalidades diferentes; sin embargo, aproximadamente el 60 % no mostró color secundario. Estos resultados resaltan el potencial del germoplasma del INIAP para programas de mejoramiento genético frente a los desafíos agroclimáticos actuales.

Palabras clave: caracterización agronómica, conservación ex situ, viabilidad de semillas, variabilidad genética, materiales promisorios

CHARACTERIZATION OF 208 ACCESSIONS OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) FROM THE INIAP GERMPLASM BANK

Sayda Anabel Cuasque Chuquin

Universidad Técnica del Norte

email: sacuasquec@utn.edu.ec

ABSTRACT

Ecuador is recognized for its high agricultural diversity and genetic richness in crops, among which the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plays a fundamental role in food security. The objective of this study was to evaluate the agronomic and morphological characteristics of 208 common bean accessions conserved since the 1980s in the Germplasm Bank of the National Institute of Agricultural Research (INIAP), collected mainly in the province of Loja. The research was conducted at the La Pradera Experimental Farm in Chaltura, using a completely randomized design. Days to emergence ranged from 5 to 11 days. Regarding growth habits, 19.21% were determinate bush, 54.18% indeterminate bush, 20.19% semi-climbing, and 6.40% climbing. Days to flowering ranged from 42 to 89, physiological maturity from 75 to 142, and harvest from 92 to 162 days. A wide genetic variability was observed, with phenological differences associated with growth habits. However, the weight of 100 seeds showed no correlation with this trait, ranging from 5.6 to 71 g. Regarding morphological characteristics, flowers were identified as white, pink, purple, and greenish yellow. Furthermore, the seeds exhibited 11 different shades; however, approximately 60% did not show a secondary color. These results highlight the potential of INIAP germplasm for genetic improvement programs in the face of current agroclimatic challenges.

Keywords: agronomic characterization, ex situ conservation, seed viability, genetic variability, promising materials.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El fréjol (*Phaseolus* spp.) es considerado uno de los cultivos más antiguos de la humanidad, con evidencias arqueológicas que sitúan su domesticación en regiones de Mesoamérica y Sudamérica alrededor del año 5000 a.C., lo que evidencia su importancia histórica como fuente esencial en la alimentación humana (Ulloa et al., 2011). En la actualidad, este cultivo se encuentra distribuido en los cinco continentes, mostrando una amplia capacidad de adaptación a diversas condiciones agroecológicas.

El género *Phaseolus* comprende aproximadamente 70 especies, de las cuales cinco han sido domesticadas: *Phaseolus acutifolius* A. Gray, *Phaseolus coccineus* L., *Phaseolus dumosus* Macfody, *Phaseolus lunatus* L. y *Phaseolus vulgaris* L., siendo esta última la especie de mayor importancia económica y la más cultivada a nivel mundial (Delgado et al., 2006). La amplia diversidad genética presente en este género constituye una base fundamental para los programas de mejoramiento, ya que permite identificar materiales con características deseables, como la adaptación a diferentes ambientes y la resistencia a factores bióticos y abióticos (Bitocchi et al., 2017).

En este contexto, la caracterización de los recursos genéticos se constituye como una herramienta clave para evaluar la adaptación de los cultivos a condiciones agroecológicas específicas. Este proceso se basa en la observación y análisis de características cualitativas y cuantitativas, tales como la resistencia a enfermedades, el hábito de crecimiento, el tiempo de madurez, la adaptación local, así como el tamaño y color del grano, lo que permite diferenciar e identificar las accesiones dentro de una misma especie (Alicandri et al., 2024). De manera complementaria, Jacinto-Hernández et al. (2014) señalan que la caracterización es fundamental en los programas de mejoramiento genético, ya que facilita la selección de genotipos con comportamiento agronómico superior.

En el Ecuador, la conservación de la agrobiodiversidad del fréjol tuvo un avance significativo a partir de la década de 1980, con la creación del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) y la formalización de las colectas de leguminosas (Debouck, 1989). Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2010), las actividades

sistemáticas para el rescate y almacenamiento de germoplasma de *Phaseolus vulgaris* L. se intensificaron a partir de 1981 con la creación de su unidad especializada en recursos fitogenéticos. Estas expediciones iniciales permitieron salvaguardar variedades nativas y criollas, con alrededor de 2465 accesiones custodiadas en el Banco de Germoplasma, garantizando la base genética necesaria para el fitomejoramiento y la seguridad alimentaria del país frente a amenazas climáticas y biológicas (Peralta & Vásquez, 1991; INIAP, 2022).

1.2 Problema de investigación

En la actualidad, los sistemas de producción agrícola basados en el modelo de la "revolución verde" buscan incrementar el rendimiento mediante el uso de una base genética limitada, lo que ha generado la homogeneización de los cultivos. Como consecuencia, se produce una erosión genética debido al desplazamiento de variedades locales por genotipos uniformes (Reyes & Cano, 2022). En este mismo sentido, el Viceministerio de Cultura y Patrimonio del Ecuador (2016) señala que los sistemas de producción intensiva han afectado tanto la diversidad genética como las relaciones culturales asociadas a ella.

A pesar de que el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) salvaguarda una amplia colección de fréjol en su Banco de Germoplasma, estos materiales enfrentan desafíos críticos relacionados con la actualización de información de características morfoagronómicas y de viabilidad de estos materiales. Muchas de estas accesiones fueron colectadas hace aproximadamente 30 años y no cuentan con una caracterización actualizada que permita conocer sus características morfológicas y agronómicas bajo las condiciones actuales. Además, estos materiales presentan porcentajes de germinación cercanos al 85 %, lo que evidencia la necesidad de su refrescamiento para garantizar su viabilidad y conservación a largo plazo.

Ante esta situación, el Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA) cumple un rol determinante al financiar iniciativas orientadas a la recuperación y valorización del germoplasma. Sin una caracterización precisa que identifique rasgos de adaptabilidad o resistencia dentro de la colección nacional, la riqueza genética custodiada permanece como un recurso estático, limitando las respuestas técnicas frente a factores adversos como las heladas, que provocan el 25% de las mermas productivas, o el impacto de plagas y enfermedades, responsables del 19% de las pérdidas (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAG], 2024).

1.3 Justificación

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) sostiene que el uso y la conservación de la agrobiodiversidad son herramientas de resiliencia esenciales frente a los desafíos del cambio climático. En Ecuador, el Banco de Germoplasma del INIAP custodia aproximadamente 2465 accesiones de fréjol (INIAP, 2022), almacenando una amplia variabilidad de recursos fitogenéticos para la seguridad alimentaria.

La presente investigación se justifica por la necesidad técnica de evaluar una colección específica de 208 accesiones que han permanecido almacenadas durante tres décadas sin evaluaciones recientes. Este proceso de caracterización se desarrolla dentro del marco del proyecto "Fortalecimiento del Centro de Bioconocimiento La Pradera como eje integrador de bancos comunitarios de semillas de Imbabura y la generación de sistemas alimentarios más sostenibles y resilientes", financiado por FIASA. La ejecución de esta investigación en la Granja La Pradera facilita la documentación del comportamiento agronómico de estas accesiones en las condiciones de Chaltura

Desde la perspectiva del fitomejoramiento, la caracterización es fundamental para identificar rasgos de alta heredabilidad que permitan desarrollar variedades adaptadas a diversos ecosistemas (Jaramillo & Baena, 2000). Al realizar esta evaluación, no solo se cumple con el protocolo de regeneración para elevar los niveles de viabilidad, sino que se genera información científica necesaria para transformar estas colecciones en herramientas dinámicas para la agricultura sustentable, alineándose con los objetivos de conservación y desarrollo impulsados por FIASA.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Caracterizar 208 accesiones de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes del Banco de Germoplasma de INIAP.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características morfoagronómicas de 208 accesiones de frejol de la colección nacional.
- Identificar materiales promisorios dentro de la colección de fréjol evaluada bajo las condiciones agroclimáticas de Chaltura.

1.5 HIPÓTESIS

H0: No existe variabilidad morfoagronómica en la colección de fréjol conservada por INIAP.

Ha: La caracterización permite identificar la existencia de variabilidad genética en la colección nacional de fréjol.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fréjol

2.1.1 Origen y distribución

El fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de gran importancia alimentaria cuyo origen se asocia a dos centros de domesticación independientes: Mesoamérica (principalmente México y América Central) y la región andina de Sudamérica (sur del Perú, Bolivia y noroeste de Argentina). Estudios arqueológicos y análisis genéticos han evidenciado que la domesticación ocurrió hace aproximadamente entre 7 000 y 8 000 años, dando lugar a dos grupos genéticos diferenciados: el mesoamericano y el andino (Debouck, 1991; Bitocchi et al., 2017).

El centro de origen del género *Phaseolus* se ubica en el continente americano, mientras que la diversificación del fréjol común se consolidó en estos dos grandes centros, donde se desarrollaron múltiples razas locales adaptadas a condiciones ecológicas específicas (Kaplan & Lynch, 1999; Papa et al., 2007). El grupo genético mesoamericano se caracteriza por semillas de menor tamaño y adaptación a ambientes tropicales y subtropicales, mientras que el grupo genético andino presenta semillas más grandes y adaptación a zonas de mayor altitud (Gepts, 1998; Singh, 2001). Posteriormente, el fréjol se dispersó a otras regiones del mundo tras el intercambio colombino, estableciéndose en África, Europa y Asia, donde continuó su diversificación bajo diferentes condiciones agroecológicas (FAO, 2015).

2.2 Descripción taxonómica y morfológica

2.2.1 Descripción taxonómica

De acuerdo con Freytag y Debouck (2002), en 1753 Carlos Linneo asignó el nombre científico al fréjol como *Phaseolus vulgaris* L., estableciendo su clasificación dentro del sistema binomial. La clasificación taxonómica se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Descripción taxonómica del fréjol

Criterio	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliofitas
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledónea)
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae (Leguminosae)
Género	*Phaseolus*
Especie	*Phaseolus vulgaris* L.

2.2.2 Morfología del fréjol

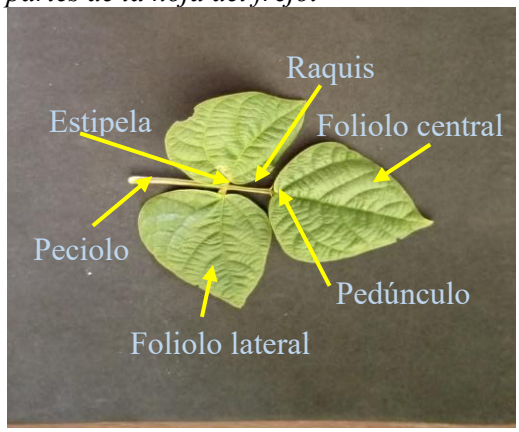
2.2.2.1 Raíz. Esta se forma en la primera etapa de desarrollo; está formada por la radícula del embrión y posteriormente se convierte en la raíz principal. En días posteriores se desarrollan las raíces secundarias y en estas se desarrollan nódulos y estos con una asociación con la bacteria *Rhizobium* fijan nitrógeno (Debouck & Hidalgo, 1985).

2.2.2.2 Tallo. El tallo constituye el eje principal de la planta y está formado por una sucesión de nudos y entrenudos. Estas pueden alcanzar alturas que varían entre 0.40 m y 2 m, dependiendo de la variedad y de la zona de cultivo. Además, la pigmentación puede variar en tres colores: verde, rosado y morado (Peralta, 2013; Goyes, 2014).

2.2.2.3 Hojas. Las hojas presentan dos tipos: simples y compuestas; están insertadas en los nudos del tallo y las ramas (Figura 1). Las hojas simples se forman durante la embriogénesis y estas caen cuando antes que a planta se desarrolle completamente. Mientras que, las hojas trifoliadas son típicas del fréjol y está compuestas por: tres foliolos, un peciolo y un raquis (Debouck & Hidalgo, 1985).

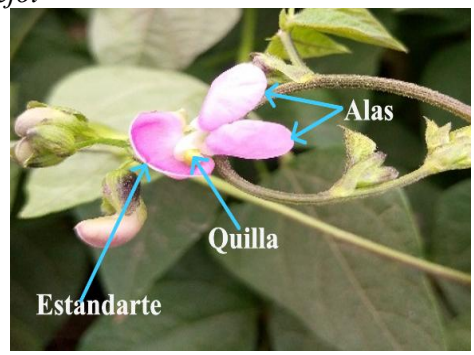
Figura 1

Descripción de las partes de la hoja del fréjol



2.2.2.4 Flores. El primer tallo floral se origina en la axila, entre las hojas y el tallo. La floración progresa tanto hacia la parte alta como hacia la parte baja. Las flores se muestran en pequeños racimos y, dependiendo de la variedad, logran obtener sus características distintivas, como su color y forma, entre otras. Presentan un cáliz formado por cinco sépalos y una corola papilionácea compuesta por cinco pétalos diferenciados: un estandarte, dos alas laterales y dos pétalos inferiores unidos que forman la quilla (Albán, 2012) (Figura 2).

Figura 2
Partes de la flor del fréjol



2.2.2.5. Semilla. La semilla presenta una amplia variabilidad de colores, que varían desde blanco y negro hasta café, rojo y otras tonalidades (Figura 3). La combinación de colores también es muy frecuente; sin embargo, algunos tipos solo presentan un color. Puede alcanzar tamaños aproximados de 0.8 a 2 cm de longitud y de 0.5 a 1.2 cm de ancho, dependiendo de la variedad. Presenta una cubierta externa lisa y dura llamada tegumento, cuyo color puede variar. En uno de sus lados se observa el hilio, una pequeña cicatriz que indica el punto donde la semilla estuvo unida a la vaina. En su interior contiene los cotiledones, que ocupan la mayor parte de la semilla y almacenan las reservas nutritivas necesarias para la germinación, así como el embrión, que dará origen a la nueva planta (Fernández et al., 1985; Albán, 2012).

Figura 3
Diversidad de colores en las semillas del fréjol conservadas en Banco de Germoplasma del INIAP



2.2.2.6 Hábito de crecimiento. El hábito de crecimiento del fréjol se refiere a la arquitectura de la planta, resultado de factores genéticos. Existen caracteres morfoagronómicos que contribuyen a determinar el hábito de crecimiento: número de nudos, longitud entre nudos, tipo de ramificación, desarrollo apical. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1984) establece cuatro tipos de hábitos de crecimiento: arbustivo determinado, arbustivo indeterminado, semivolubles y volubles (Figura 4).

Figura 4

Hábitos de crecimiento presentes en la colección de fréjol de INIAP



Nota: a) arbustivo determinado. B) arbustivo indeterminado. C) Semi voluble. D) Voluble

2.2.3 Etapas fenológicas del cultivo de fréjol

El CIAT (1986), en base a la morfología y los cambios fisiológicos que ocurren en la planta, estableció una escala para diferencias las etapas de desarrollo de fréjol (Tabla 2). El ciclo biológico se divide en dos fases principales: vegetativa y reproductiva. La fase vegetativa comprende inicia cuando la semilla tiene las condiciones ideales para la germinación y finaliza cuando aparece el primer botón floral. La fase reproductiva, por su parte, comprende desde la presencia de los primeros botones florales y finaliza con la madurez de cosecha.

Tabla 2
Etapas fenológicas del fréjol

Fase	Código	Proceso fisiológico	Descripción
Vegetativa	V0	Germinación	La semilla cuenta con condiciones ideales para la germinación
	V1	Emergencia	Los cotiledones aparecen a nivel del suelo.
	V2	Hojas primarias	Los cotiledones adquieren la forma arrugada y arqueada.
	V3	Primera hoja trifoliada	Inicia con la aparición de la primera hoja trifoliada.
	V4	Tercera hoja trifoliada	Inicia cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada.
Productiva	R5	Prefloración	Inicia con la aparición del primer botón o racimo floral.
	R6	Floración	Inicia cuando aparece la primera flor abierta.
	R7	Formación de vainas	Inicia cuando aparece la primera vaina con la corola de la flor desprendida.
	R8	Llenado de vainas	Comienza el crecimiento activo de las semillas y al finalizar esta etapa, los granos verdes pierden su color verde y adquieren características propias de la variedad.
	R9	Maduración	Comprende la maduración y secado de las vainas

2.2.4 Principales plagas y enfermedades del cultivo de fréjol

El cultivo de fréjol se ve afectado por un complejo de agentes bióticos que inciden directamente en su desarrollo fenológico y capacidad productiva. La presión ejercida por diversas plagas entomológicas y patógenos fúngicos o virales varía según las condiciones agroclimáticas de cada zona, provocando desde reducciones en el área fotosintética hasta la pérdida total de la viabilidad del grano en postcosecha. En la tabla 3 se describen las principales plagas y enfermedades de este cultivo.

Tabla 3
Principales plagas y enfermedades del cultivo de fréjol

Categoría	Nombre Común	Nombre Científico
Plagas	Gorgojo común	*Acanthoscelides obtectus* Say.
	Minador de la hoja	*Liriomyza* spp.
	Mosca blanca	*Trialeurodes vaporariorum* (Mik).
	Lorito verde	*Empoasca krameri* (Westwood).
	Trozadores / Tierreros	*Agrotis* spp.
	Barrenador de la vaina	*Epinotia aporema* Walsingham.
Enfermedades	Antracnosis	*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc & Magnus) Brisori &Cavra
	Roya	*Uromyces appendiculatus* (Pers.) Unger
	Mancha angular	*Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferrraris
	Pudrición radicular	*Fusarium solani* (Mart.) Sacc
	Moho blanco	*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary
	Virus del Mosaico Común	BCMV (*Bean Common Mosaic Virus*)

2.3 Caracterización y evaluación de germoplasma vegetal

La caracterización de los recursos fitogenéticos se basa en determinar los atributos propios de una accesión de un germoplasma (Franco & Hidalgo, 2003). Esto consiste en detallar los atributos cualitativos y cuantitativos estas pueden ser: el crecimiento, la altura, color, las cuales forman parte de las características de alta heredabilidad con lo cual se logra diferenciación en cuanto a utilidad, estructura, viabilidad genética y relaciones entre individuos (Jaramillo & Baena, 2000; Núñez-Colín & Escobedo -López, 2011)**.**

2.3.1 Tipos de descriptores

Un descriptor corresponde a una característica que es fácil de medir, registrar o evaluar, y se refiere a la estructura, forma o comportamiento de un germoplasma. Los descriptores se pueden utilizar para caracterizar y evaluar la diferenciación de características y las expresiones de atributos de manera precisa y unificada, facilitando así la expresión de datos (Franco & Hidalgo, 2003).

Los tipos de descriptores usados en la caracterización de especies vegetales son los siguientes:

2.3.1.1 De pasaporte. Proporciona toda la información básica necesaria para el manejo general de la accesión evaluada, incluyendo el registro en el Banco Nacional de Germoplasma y cualquier otra información, además de describir todos los parámetros de la recolección de una accesión original.

2.3.1.2 De manejo. Este descriptor suministra las bases necesarias para el manejo de las accesiones en el banco de germoplasma con la finalidad de ayudar a su multiplicación, a la cantidad de semillas disponibles y al porcentaje de viabilidad.

2.3.1.3 Del sitio y el medio ambiente. Describen parámetros específicos del sitio o del ambiente cuyas características son importantes para la caracterización y evaluación.

2.3.1.4 De caracterización. Permite la discriminación entre fenotipos de caracteres altamente heredables, por ejemplo: colores, formas, de tallo, hojas, semillas.

2.3.1.5 De evaluación. La mayoría de los descriptores dependen del medio ambiente y, en consecuencia, son necesarios métodos experimentales para su evaluación, entre los cuales se incluyen características como rendimiento, productividad agroquímica, susceptibilidad al estrés y caracteres bioquímicos y citológicos.

2.4 Estrategias de conservación de recursos fitogenéticos

Las estrategias de conservación de recursos fitogenéticos representan el pilar biológico de la seguridad alimentaria mundial, al resguardar la diversidad genética presente en variedades tradicionales, cultivares modernos y parientes silvestres. Estos recursos no solo son la materia prima fundamental para el fitomejoramiento y la producción agrícola, sino que funcionan como un depósito de adaptabilidad y garantía frente a cambios medioambientales y económicos. Ante la realidad de que entre el 10% y 20% de las especies vegetales del mundo están amenazadas, la gestión técnica ha evolucionado hacia un enfoque complementario (Mafla & Debouck, 2007: Casas, 2016). Además, Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2015) indica que la diversidad fitogenética puede proporcionar rasgos a futuros desafíos; para esto se utilizan dos tipos de conservación:

2.4.1 Conservación In situ

La conservación in situ consiste en el mantenimiento y la recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales o, en el caso de especies domesticadas como el fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), en los entornos agrícolas donde se han desarrollado (Casas, 2016). A diferencia de los bancos de germoplasma, este método permite que las variedades locales continúen su proceso de adaptación evolutiva frente a cambios en el suelo, el clima y las plagas locales, preservando no solo el material genético, sino también el conocimiento tradicional asociado a su manejo (Franco & Hidalgo, 2003). En la práctica, este enfoque se sustenta en la conservación en fincas, donde los agricultores actúan como custodios de la biodiversidad al seleccionar y sembrar continuamente sus semillas, manteniendo así un reservorio genético dinámico que es esencial para la seguridad alimentaria (Debouck & Delgado, 1985).

2.4.2 Conservación Ex situ

La conservación ex situ se define como el mantenimiento de los componentes de la biodiversidad fuera de sus hábitats naturales, generalmente a través de bancos de germoplasma, colecciones de campo o bancos de ADN (Casas, 2016). En el caso de las leguminosas, este proceso consiste en el almacenamiento de semillas bajo condiciones controladas de baja temperatura y humedad para prolongar su viabilidad por décadas, actuando como un seguro de vida contra la pérdida de diversidad causada por desastres naturales o cambios en el uso del suelo (Mafla & Debouck, 2007).

2.5 Marco legal

La presente investigación se fundamenta en el marco normativo nacional e internacional que regula la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de los recursos fitogenéticos y la Seguridad Alimentaria.

A nivel nacional, la investigación se sustenta en la Constitución de la República del Ecuador (2008) que establece los pilares fundamentales de derechos. En relación con la Soberanía Alimentaria, el artículo 281 señala que: *"La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados"* (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, art. 281). Asimismo, en materia ambiental, el artículo 400 dispone que: *"El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional"* (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, art. 400). En este mismo sentido, el artículo 401 establece que: *"Se declara al Ecuador libre de cultivos y semillas transgénicas"* (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, art. 401). Estas disposiciones evidencian la importancia de conservar la diversidad genética de cultivos como el fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

De manera complementaria, la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria establece lineamientos para la protección de la agrobiodiversidad. Según la Asamblea Nacional del Ecuador (2009), esta ley promueve la conservación y recuperación de semillas nativas y tradicionales, reconociendo su valor estratégico para la producción agrícola. En este marco, se enfatiza que el Estado debe fomentar el uso sostenible de los recursos fitogenéticos y fortalecer los sistemas productivos locales, lo cual se relaciona directamente con la caracterización y regeneración de germoplasma.

En el marco de la planificación nacional, el Plan Nacional de Desarrollo 2025–2029 "Ecuador no se detiene" constituye el principal instrumento de orientación de las políticas públicas en el país. Según la Secretaría Nacional de Planificación (2025), este plan establece lineamientos orientados a un modelo de desarrollo sostenible, resiliente e inclusivo, estructurado en ejes estratégicos que integran lo social, económico, ambiental e institucional. En particular, se promueve la gestión sostenible de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y el fortalecimiento de los sistemas productivos, incluyendo el sector agrícola. Estos

lineamientos respaldan la importancia de investigaciones orientadas a la caracterización y conservación de recursos fitogenéticos, al contribuir al desarrollo productivo sostenible y a la resiliencia frente al cambio climático.

A nivel internacional, la investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En particular, el objetivo 2: Hambre Cero plantea que es necesario *"mantener la diversidad genética de las semillas, las plantas cultivadas y los animales de granja"* (Naciones Unidas, 2015). Asimismo, el objetivo 13: Acción por el clima enfatiza la necesidad de fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos, mientras que el objetivo 15 promueve la protección, restauración y uso sostenible de los ecosistemas terrestres. Estos lineamientos refuerzan la necesidad de conservar y caracterizar recursos fitogenéticos como estrategia para enfrentar el cambio climático y garantizar la seguridad alimentaria.

En este contexto, la presente investigación se enmarca en estos instrumentos legales, contribuyendo al cumplimiento de políticas públicas orientadas a la conservación de la agrobiodiversidad, el fortalecimiento de la soberanía alimentaria y el desarrollo sostenible del sector agrícola.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

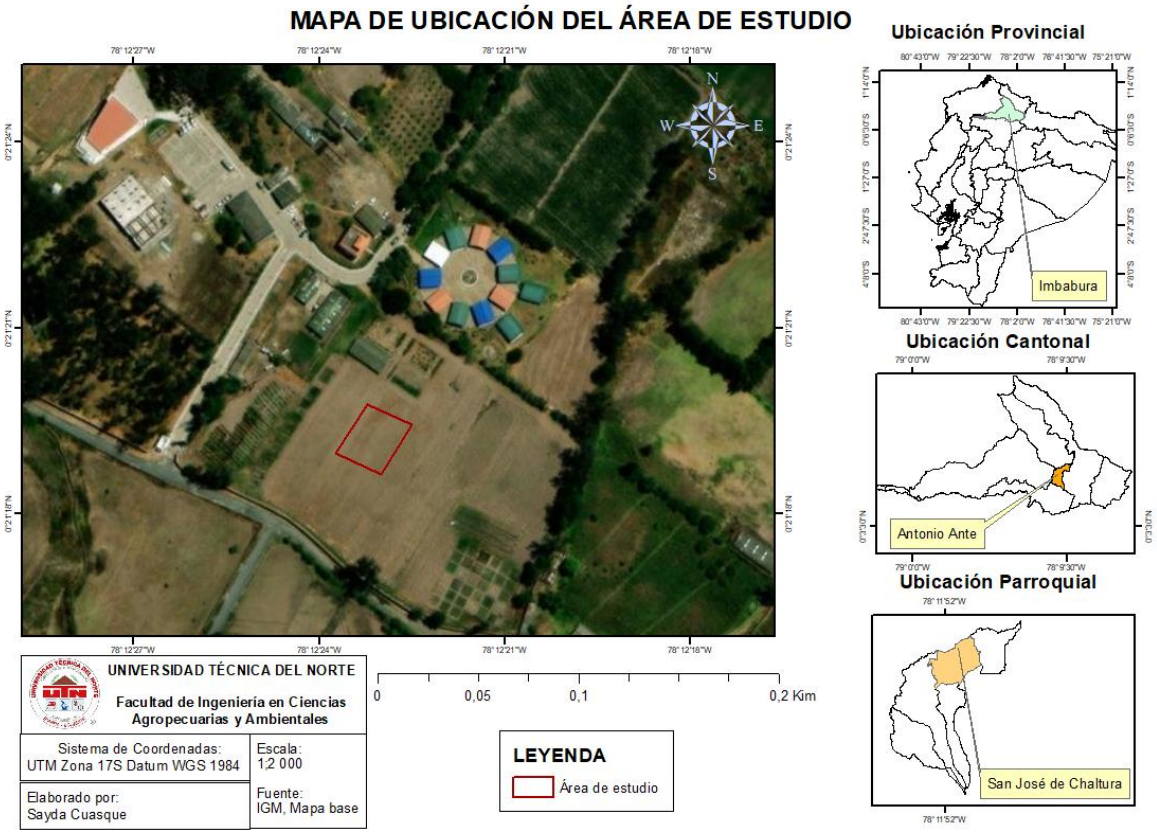
Esta investigación corresponde a la caracterización morfoagronómica y se efectuó a nivel de campo en la Granja Experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte.

3.1. Descripción del área de estudio

La granja experimental La Pradera está ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San José de Chaltura (Figura 5). Ubicada a 2243 metros sobre el nivel del mar, presenta un clima templado con una temperatura anual de 17 ºC y una precipitación anual de 331 mm (Gobierno autónomo descentralizado Antonio Ante, 2023).

Figura 5

Mapa de ubicación del ensayo en la Granja Experimental La pradera, en Chaltura



3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

En la tabla 4 se describen detalladamente los materiales necesarios para la implementación y el manejo del experimento. Estos materiales comprenden aquellos utilizados en las actividades de adecuación del área destinada al estudio, tales como herramientas para la preparación del

suelo, delimitación de parcelas y acondicionamiento del terreno. Asimismo, se incluyen los insumos requeridos para la implementación del cultivo, como semillas, fertilizantes y materiales para la siembra. Finalmente, se consideran los recursos necesarios para el manejo del cultivo durante su desarrollo, incluyendo equipos, insumos y herramientas empleadas en labores de riego, control de malezas, fertilización y monitoreo del crecimiento, garantizando así el adecuado desarrollo del experimento.

Tabla 4
Descripción de los materiales utilizados

Material vegetal	Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
208 accesiones de fréjol	Rótulos Libreta de campo	Balanza Computadora Calculadora	Fertilizante foliar Biol Fungicida Insecticida	Pala Azadón Estacas Piola Flexómetro

3.3 Métodos

La investigación es experimental, centrada en la evaluación de las características morfológicas y agronómicas de 208 accesiones de fréjol conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma del INIAP, las cuales presentan una amplia diversidad de materiales recolectadas en la región del centro sur del Ecuador. La fase experimental de campo se implementó en la granja experimental La Pradera.

3.3.1 Factores en estudio

El factor en estudio comprendió las 208 accesiones de fréjol conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma de INIAP. Estas accesiones tuvieron diferentes provincias de recolección tanto en la región centro y sur de la sierra ecuatoriana. La colección estuvo conformada principalmente por materiales originarios de la provincia de Loja, que aportó la mayor parte de las accesiones incluidas en el estudio. Adicionalmente, se evaluaron materiales procedentes de las provincias de Chimborazo, Carchi, Cañar y Azuay. En la tabla 5 se presenta el código de cada accesión y su provincia de origen.

Tabla 5

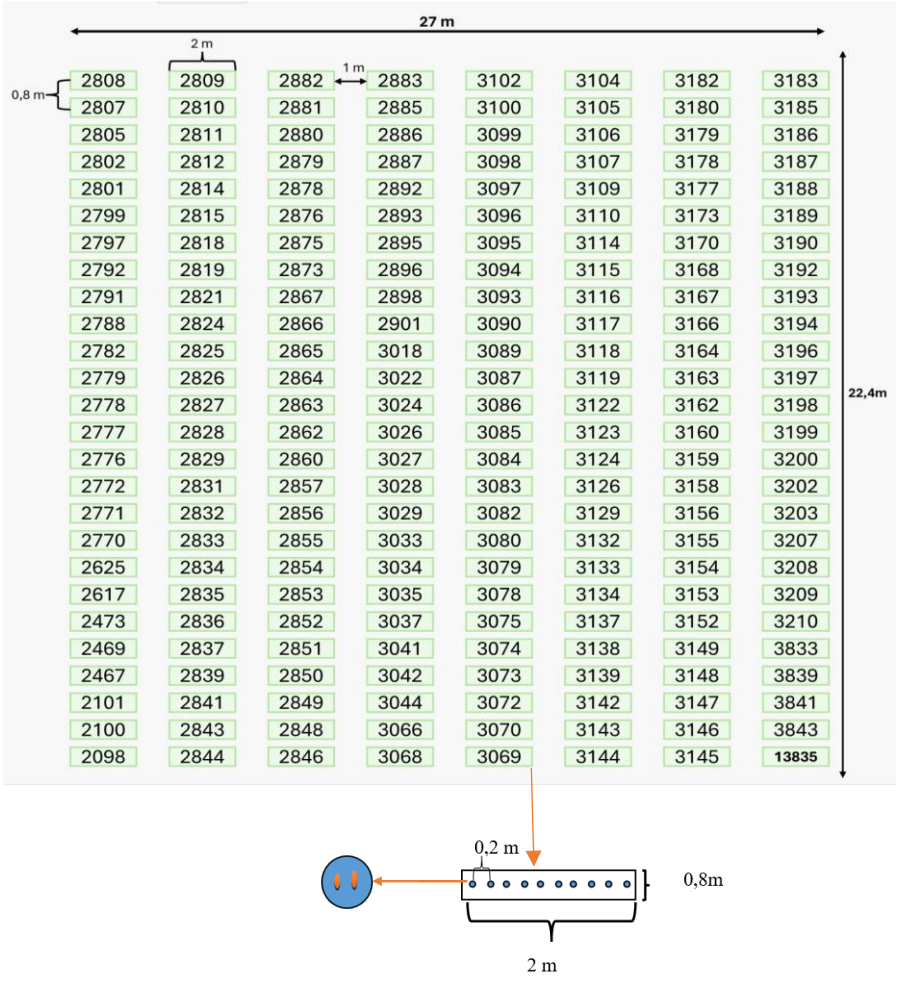
Procedencia de los materiales evaluados y sus codificaciones

Provincia	Código
Loja	ECU-2617, ECU-2770, ECU-2771, ECU-2772, ECU-2776, ECU-2777, ECU-2778, ECU-2779, ECU-2782, ECU-2788, ECU-2791, ECU-2792, ECU-2797, ECU-2799, ECU-2801, ECU-2802, ECU-2805, ECU-2807, ECU-2808, ECU-2809, ECU-2810, ECU-2811, ECU-2812, ECU-2814, ECU-2815, ECU-2818, ECU-2819, ECU-2821, ECU-2824, ECU-2825, ECU-2826, ECU-2827, ECU-2828, ECU-2829, ECU-2831, ECU-2832, ECU-2833, ECU-2834, ECU-2835, ECU-2836, ECU-2837, ECU-2839, ECU-2841, ECU-2843, ECU-2844, ECU-2846, ECU-2848, ECU-2849, ECU-2850, ECU-2851, ECU-2852, ECU-2853, ECU-2854, ECU-2855, ECU-2856, ECU-2857, ECU-2860, ECU-2862, ECU-2863, ECU-2864, ECU-2865, ECU-2866, ECU-2867, ECU-2873, ECU-2875, ECU-2876, ECU-2878, ECU-2879, ECU-2880, ECU-2881, ECU-2882, ECU-2883, ECU-2885, ECU-2886, ECU-2887, ECU-2892, ECU-2893, ECU-2895, ECU-2896, ECU-2898, ECU-2901, ECU-3018, ECU-3022, ECU-3024, ECU-3026, ECU-3027, ECU-3028, ECU-3032, ECU-3033, ECU-3034, ECU-3035, ECU-3037, ECU-3041, ECU-3042, ECU-3044, ECU-3066, ECU-3068, ECU-3069, ECU-3070, ECU-3072, ECU-3073, ECU-3074, ECU-3075, ECU-3078, ECU-3079, ECU-3080, ECU-3082, ECU-3083, ECU-3084, ECU-3085, ECU-3086, ECU-3087, ECU-3089, ECU-3090, ECU-3093, ECU-3094, ECU-3095, ECU-3096, ECU-3097, ECU-3098, ECU-3099, ECU-3100, ECU-3102, ECU-3104, ECU-3105, ECU-3106, ECU-3107, ECU-3109, ECU-3110, ECU-3114, ECU-3115, ECU-3116, ECU-3117, ECU-3118, ECU-3119, ECU-3122, ECU-3123, ECU-3124, ECU-3126, ECU-3129, ECU-3132, ECU-3133, ECU-3134, ECU-3137, ECU-3138, ECU-3139, ECU-3142, ECU-3143, ECU-3144, ECU-3145, ECU-3146, ECU-3147, ECU-3148, ECU-3149, ECU-3152, ECU-3153, ECU-3154, ECU-3155, ECU-3156, ECU-3158, ECU-3159, ECU-3160, ECU-3162, ECU-3163, ECU-3164, ECU-3166, ECU-3167, ECU-3168, ECU-3170, ECU-3173, ECU-3177, ECU-3178, ECU-3179, ECU-3180, ECU-3182, ECU-3183, ECU-3185, ECU-3186, ECU-3187, ECU-3188, ECU-3189, ECU-3190, ECU-3192, ECU-3193, ECU-3194, ECU-3196, ECU-3197, ECU-3198, ECU-3199, ECU-3200, ECU-3202, ECU-3203, ECU-3207, ECU-3208, ECU-3209, ECU-3210
Chimborazo	ECU-2098, ECU-2473, ECU-2625
Carchi	ECU-2100, ECU-2101
Cañar	ECU-3833, ECU-3839, ECU-3841, ECU-3843
Azuay	ECU-2467, ECU-2469
Otro	ECU-13835

3.3.2 Diseño experimental

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con un área experimental de 832 m², en la que se distribuyeron las 208 accesiones. Cada unidad experimental contó con un área de 1.60 m², tal como se muestra en la figura 6.

Figura 6
Croquis del diseño experimental



3.3.3 Características del experimento

A continuación, en la tabla 6 se detallan las características de la parcela productiva establecida en la Granja Experimental La Pradera.

Tabla 6
Características del área experimental

Descripción	Medidas
Área total	832 m^2
Área de la parcela neta	1.60 m^2
Largo del surco	2 m
Ancho del surco	0.80 m
Distancia entre surco	0.80 m
Distancia entre siembra	0.20 m
Número de semilla por punto de siembra	2
Número de semillas por surco	20

3.3.4 Análisis estadístico

Se utilizó el programa de Infostat para realizar el análisis estadístico. Para los análisis de variables cuantitativas se realizó un análisis de medidas resumen, en el cual se presentaron datos sobre la media, el coeficiente de variación, los valores máximos y mínimos, mientras que para las variables cualitativas se realizó un análisis de tablas de frecuencias.

Para el análisis por conglomerado, los datos cualitativos fueron transformados en números. Para el análisis por conglomerados se empleó el método de agrupamiento de Ward (1963) y la distancia de Gower (1967); se generó un dendrograma que permitió visualizar los agrupamientos de acuerdo con características similares.

Para identificar variables cuantitativas significativas, se realizó el análisis de varianza a nivel de grupos y a través del estadístico de Fisher al 5%. Para identificar variables cualitativas significativas, se trabajó con tablas de contingencia, donde se emplearon los estadísticos de coeficiente de correlación de Pearson (p), pseudo-F, valor p y chi-cuadrado (X^2).

3.4 Variables y métodos para evaluar

Para registrar los datos correspondientes se utilizaron descriptores desarrollados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (1993). De la misma manera, para determinar el color se utilizó la tabla de colores Munsell.

Para la toma de datos se seleccionaron 10 individuos (plantas) totalmente al azar pertenecientes a cada accesión. Por otra parte, para los datos cualitativos se tomaron cinco individuos completamente al azar.

3.4.1 Variables Cuantitativas

3.4.1.1 Días de germinación. Esta variable se registró a partir del día en que se realizó la siembra en suelo previamente humedecido, asegurando condiciones adecuadas para la germinación. El periodo de evaluación se extendió hasta el momento en que el 50% de las plántulas de cada accesión emergieron y fueron visibles sobre la superficie del suelo.

3.4.1.2 Porcentaje de germinación. La evaluación se realizó a los 15 días posteriores a la siembra, considerando cada accesión de manera individual. En esta fecha se registró el número de plantas emergidas por accesión y los datos obtenidos fueron expresados

en porcentaje, con el fin de determinar el nivel de emergencia y establecimiento del cultivo.

3.4.1.3 Días a la floración. Se evaluaron los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta el momento en que el 50% de las plantas de cada accesión presentaron la primera rama en flor. Esta medición permitió determinar el inicio de la etapa reproductiva en cada material evaluado y comparar su comportamiento en cuanto a precocidad floral.

3.4.1.4 Longitud del tallo principal. Se tomaron en cuenta 10 individuos de cada accesión durante el periodo de floración y se usó una cinta métrica. Para esta variable se consideraron las plantas con crecimiento determinado, se tomó la medida desde la raíz hasta el último racimo floral (Figura 7).

Figura 7
Descripción de la forma de medir la longitud del tallo del fréjol

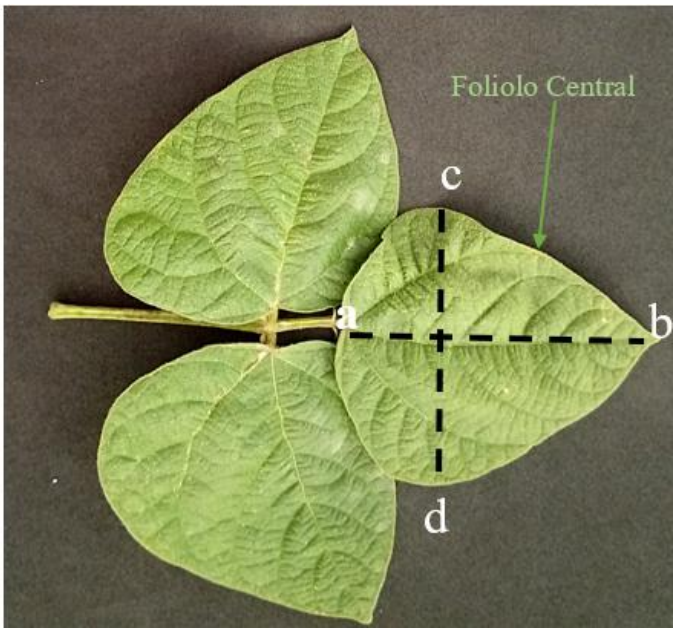


Fuente: CIAT (1993)

3.4.1.5 Longitud del folíolo central. Se midió en centímetros una hoja tomada del punto medio de la planta. La medición se realizó desde el punto de inserción de la lámina foliar en el pecíolo hasta el ápice del foliolo, considerando específicamente el foliolo central (Figura 8). Esta evaluación permitió obtener datos precisos sobre el tamaño de la hoja como parte de la caracterización morfológica del cultivo.

Figura 8

Forma de medir el folíolo central de la hoja



Nota: ab= longitud y cd=ancho

3.4.1.6 Ancho del foliolo central. Se lo definió en el mismo prospecto evaluado anteriormente, considerando la misma hoja seleccionada para mantener uniformidad en la medición. Esta variable se midió en centímetros desde el punto más ancho del foliolo central hacia el extremo lateral (Figura 8), con el fin de determinar el ancho máximo del foliolo y complementar la caracterización morfológica de la planta.

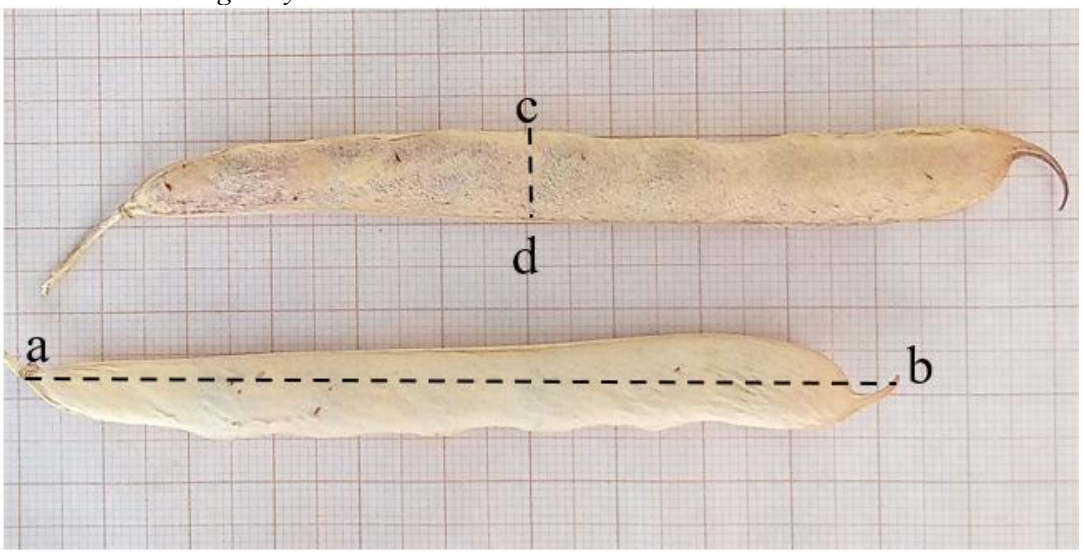
3.4.1.7 Días a la madurez fisiológica. Se clasifica en función del número de días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que se observa el cambio de color de la vaina en el 50% de la vegetación presente en la parcela. Este cambio de color indica el inicio de la madurez fisiológica del cultivo y permite determinar el tiempo requerido para alcanzar esta etapa en cada material evaluado.

3.4.1.7 Días a la cosecha. Al registrar este descriptor, se tomó en cuenta la cantidad de días transcurridos desde la siembra hasta que las vainas alcanzan la madurez en el campo. Significa que el contenido de humedad del grano es del 16 al 18% y la planta presenta del 80 al 90% de hojas caídas.

3.4.1.8 Longitud de la vaina. Cuando las vainas maduraron en el campo, se tomaron 10 vainas por accesión y se midieron en centímetros con la ayuda de un calibrador, desde la inserción en el pedicelo hasta el extremo libre del ápice (Figura 9).

Figura 9

Medición de la longitud y ancho de las vainas



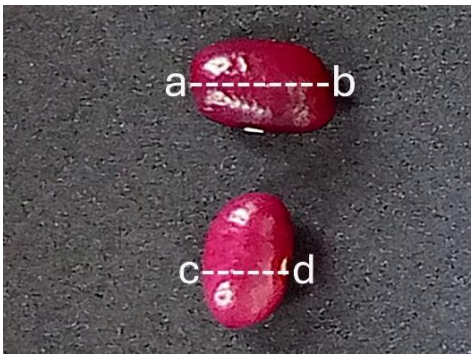
Nota: ab= longitud y cd =ancho

3.4.1.9 Ancho de la vaina. Respecto a esta característica, el cálculo se realizó utilizando las mismas vainas que fueron evaluadas previamente para medir la longitud, con el fin de mantener uniformidad en las mediciones. El ancho se determinó desde la parte más amplia de la vaina, considerando la distancia entre la sutura dorsal y la sutura ventral. Esta medición se efectuó en centímetros empleando un calibrador, lo que permitió obtener mayor precisión en los datos registrados (Figura 9).

3.4.1.10 Número de semillas por vaina. Para determinar estos datos, se utilizaron las mismas vainas evaluadas anteriormente, con el fin de mantener consistencia en el análisis. En cada una de ellas se procedió a contar manualmente el número de granos o semillas presentes, registrando la información de manera individual. Este procedimiento permitió obtener un promedio representativo del número de semillas por vaina en cada accesión estudiada.

3.4.1.11 Largo de la semilla. Para registrar este dato se tomaron 10 semillas seleccionadas al azar. Posteriormente, las semillas fueron medidas en centímetros utilizando un calibrador para garantizar mayor precisión en la medición. Este procedimiento permitió obtener un valor promedio confiable del tamaño de las semillas evaluadas.

Figura 10
Medición de longitud y ancho de la semilla



Nota: ab = longitud y cd = ancho de la semilla

3.4.1.12 Ancho de la semilla. Los datos se obtuvieron utilizando las mismas semillas evaluadas previamente, con el fin de mantener uniformidad en las mediciones. En esta ocasión, las semillas se colocaron en posición vertical y se midieron en centímetros empleando un calibrador para asegurar precisión (Figura 10).

3.4.1.13 Peso de 100 semillas. Para la obtención de este dato, se utilizó una balanza electrónica previamente calibrada para garantizar la precisión de los resultados. Se tomó una muestra de 100 semillas por cada accesión evaluada y se procedió a registrar su peso en gramos. Este procedimiento permitió determinar el peso de cien semillas como indicador del tamaño y rendimiento potencial de cada material.

3.4.1.14 Rendimiento g/planta. Una vez registrado el peso total de las semillas y el número de plantas cosechadas. Se dividió el peso total entre el número de plantas de cada accesión y se obtuvo el dato de rendimiento por planta.

3.4.2 Variables cualitativas.

Para la evaluación de las variables relacionadas con el color, se utilizó la tabla de colores de Munsell como referencia para determinar el tono, valor y croma de cada muestra. Posteriormente, los colores identificados se agruparon en categorías o grupos de color con el fin de facilitar el análisis y la comparación entre accesiones.

3.4.2.1 Color de las alas y estandarte de la flor. Se registró observando directamente las alas de la flor en campo durante el período de floración. En dicha etapa la flor es la parte más visible. Se utilizó la tabla de colores de Munsell para generar categorías

de colores con diferentes tonalidades (Tabla 7). Finalmente se categorizaron estos colores en 4 colores.

Tabla 7
Descripción de agrupamientos de colores para las alas y estandarte de la flor de fréjol

Código de Munsell	Color descriptivo	Código	Categoría final
76	Blanco	1	Blanco
5RP 5/2, 5RP 6/2, 5RP 5/6, 5RP 6/4, 5RP 5/8 y 5RP 5/10	Púrpura grisácea	2	Purpura
5RP 4/2, 5RP 4/6, 5RP 4/12, 5RP 3/10, 5RP 4/8, 5RP 4/10, 5RP 3/8 y 5RP 3/6	Púrpura violáceo fuerte	3	
2.5R 8/2	Rosa grisáceo	4	Rosa
5RP 8/6,	Rosa violáceo claro	5	
5RP 7/2, 5RP 7/4, 5RP 8/2 y 5RP 8/4,	Rosa violáceo pálido	6	
5RP 6/10, 5RP 7/8, 5RP 7/6, 5RP 6/6 y 5RP 6/8	Rosa violáceo intenso	7	
2.5GY 8/2, 2.5GY 8/4 y 2.5GY 8/6	Amarillo pálido verdoso	8	Amarillo verdoso

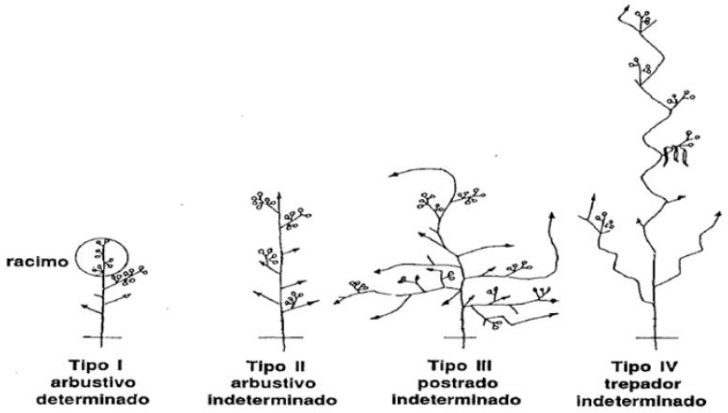
3.4.2.2 Color de la quilla de la flor. Esta característica se registró de la misma manera por observación directa al momento de la floración. Para determinar el color se utilizó la tabla de colores Munsell y se realizó una tabla de escala de colores (Tabla 8).

Tabla 8
Descripción de colores para la quilla de la flor

Código de Munsell	Color descriptivo	Código	Categoría final
76	Blanco	1	Blanco
2.5GY 8/4, 2.5GY 8/6, 2.5GY 8/2, 2.5GY 8/10 y 2.5GY 8/8	Verde amarillento claro	2	Verde
2.5GY 7/10, 7.5GY 7/8, 7.5GY 7/10	Amarillo verde fuerte	3	
2.5GY 7/4, 2.5GY 7/6, 5GY 7/4 y 5GY 7/6	Amarillo verde moderado	4	

3.4.2.3 Hábito de crecimiento. Mediante observación directa en campo, se registró el hábito de crecimiento del tallo durante el periodo de floración, de acuerdo con las características descritas por el CIAT, el cual menciona cuatro hábitos de crecimiento (Figura 11).

Figura 11
Hábito de crecimiento del fréjol



Fuente: CIAT (1993)

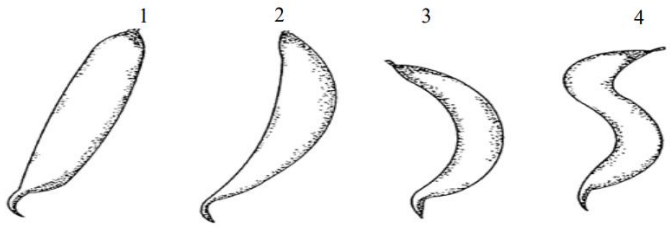
3.4.2.4 Color de la vaina al momento de la cosecha. Esta variable se registró con la tabla de colores Munsell en la cosecha, con la cual fue posible determinar el color correspondiente. De igual manera se elaboró una escala de colores (Tabla 9).

Tabla 9
Descripción de colores de la vaina seca de fréjol

Código de Munsell	Color descriptivo	Código	Categoría final
2.5Y 8/8, 2.5Y 8/6, 2.5Y 7/6 y 5Y 8/6	Amarillo	1	Amarillo
5Y 8/4 y 5Y 7/4	Amarillo pálido	2	
2.5Y 8/2, 2.5Y 8/4 y 2.5Y 7/4 y	Marrón pálido	3	
5YR 5/4	Marrón rojizo	4	Marrón
5RP 3/2 y 5RP 4/2	Púrpura violáceo fuerte	5	Purpura violáceo

3.4.2.5 Forma de la vaina. Se tomaron 10 vainas por accesión; después se evaluó la forma de la vaina. El CIAT (1993) indica 4 formas de las vainas, las cuales corresponden a 1 (recta), 2 (medianamente curvada), 3 (curvada) y 4 (recurvada), tal como muestra la figura 12.

Figura 12
Formas de la vaina del fréjol



Fuente: CIAT (1993)

3.4.2.6 Color principal y secundario de la semilla. Este descriptor se evaluó observando directamente el grano después de la cosecha en seco. El color principal fue el color predominante en la semilla. Se utilizó la tabla de Munsell para categorizar los colores mediante una codificación numérica (Tabla 10).

Tabla 10

Codificación de colores para la descripción de los colores de las semillas

Código de Munsell	Color descriptivo	Código	Código de Munsell	Color descriptivo	Código
76	Blanco	1	2,5YR 4/8, 2,5YR 5/6	Marrón rojizo	18
7,5YR 8/2	Blanco rosáceo	2	5R 5/6, 2,5R 4/6, 2,5R 5/8	Rojo grisáceo	19
2,5Y 7/6, 2,5Y 8/6, 5Y 8/6, 5Y 7/6, 5Y 7/8,	Amarillo	3	5R 3/8, 5R 3/10, 2,5R 4/8,	Rojo intenso	20
7,5YR 6/10	Amarillo anaranjado oscuro	4	5R 3/6, 5R 3/4,	Rojo oscuro	21
2,5Y 7/10	Amarillo fuerte	5	5R 7/4, 2,5R 7/2, 2,5R 7/4	Rojo pálido	22
5Y 6/6, 5Y 7/4,	Amarillo oliva	6	10R 6/2, 5R 7/2	Rojo grisáceo pálido	23
5Y 8/2, 5Y 8/4	Amarillo pálido	7	2,5R 6/6	Rosa oscuro	24
7,5YR 7/6, 7,5YR 6/8, 7,5YR 7/8	Amarillo rojizo	8	5RP 8/2	Rosa violáceo claro	25
2,5Y 7/2	Gris claro	9	7,5YR 8/4, 7,5YR 7/4	Beige claro	26
5YR 4/2, 7,5YR 4/4, 7,5YR 5/2, 5YR 4/4, 5YR 3/2, 10R 3/6, 10R 3/2	Marrón rojizo oscuro	10	5RP 4/4, 5RP 4/8, 5RP 3/6, 5RP 3/4, 5RP 3/8, 5RP 3/2 y 5RP 4/2	Púrpura violáceo fuerte	27
5YR 7/2, 7,5YR 7/2	Gris rosáceo	11	NEGRO	Negro	28
2,5Y 6/4	Marrón amarillento claro	12	2,5Y 8/2	Marrón pálido	29
7,5YR 6/4	Marrón claro	13	10R 7/4	Rojo pálido	30
2,5Y 5/2, 2,5Y 5/6	Marrón grisáceo	14	2,5R 8/2	Rosa grisáceo	31
2,5Y 8/4, 2,5Y 8/2, 2,5Y 7/4	Marrón pálido	15	5RP 6/10	Rosa violáceo intenso	32
2,5YR 7/4	Marrón rojizo oscuro	16	Ausente	Ausente	0
5RP 5/2, 5RP 6/2,	Púrpura grisáseo	17			

Luego de establecer el código de colores, las muestras se clasificaron por su matiz. Se unificaron los criterios de selección para agrupar las semillas por su color esencial, independientemente de si presentaban tonalidades fuertes o pálidas (Tabla 11).

Tabla 11

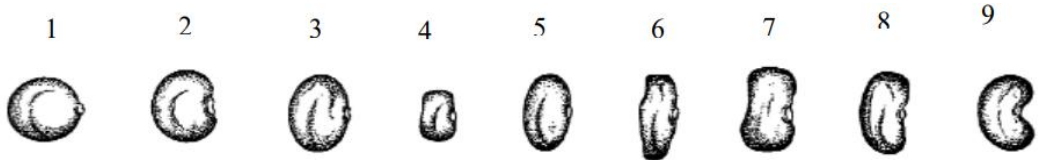
Descripción de colores por su matiz para las semillas del fréjol

Código	Categoría final
1 y 2	Blanco
26	Beige
3,5 y 7	Amarillo
4 y 8	Naranja
6	Oliva
10, 12, 13, 14, 15, 16, 18 y 29	Marrón
9 y 11	Gris
19, 20, 21, 22, 23 y 30	Rojo
24, 25, 31 y 32	Rosa
17 y 27	Púrpura
28	Negro
0	Ausente

3.4.2.7 Forma de la semilla. Se evaluó al final de la cosecha en grano seco la forma que tiene la semilla; para ello se utilizó la siguiente escala (Figura 13).

Figura 13

Forma de la semilla de fréjol



Nota: 1 redonda, 2 ovoide, 3 elíptica, 4 pequeña casi cuadrada,5 alargada, ovoide, 6 alargada, ovoide en un extremo, inclinada en el otro, 7 alargada, casi cuadrada, 8 arriñonada, recta en el lado del hilo y 9 arriñonada, curva en el lado opuesto al hilo.

3.5 Manejo del experimento

3.5.1 Labores culturales

Las labores culturales son el conjunto de prácticas o actividades agronómicas que se realizan durante el desarrollo de un cultivo con el fin de favorecer su crecimiento, protegerlo y mejorar su rendimiento. Estas labores se ejecutan desde la siembra hasta la cosecha y forman parte del manejo técnico del cultivo.

3.5.1.1 Selección del terreno. El terreno destinado a la instalación del ensayo fue seleccionado considerando el historial de cultivos del sitio, con el fin de garantizar condiciones adecuadas para el establecimiento del fréjol. Se verificó que en al menos dos ciclos agrícolas anteriores no se había cultivado fréjol en el área, evitando así la posible contaminación cruzada de semillas y la presencia de patógenos o plagas residuales específicos del cultivo. Esta precaución permitió asegurar la pureza genética

del material evaluado y minimizar interferencias que pudieran afectar la confiabilidad de los resultados experimentales.

3.5.1.2 Delimitación del área. Con la ayuda de una cinta métrica se procedió a medir el área de extensión de 832 m² y con la piola se trazó el área seleccionada.

3.5.1.3 Preparación del suelo. La preparación del terreno se realizó de manera mecánica con el paso de la rastra a una profundidad de 30 cm, con el fin de eliminar restos de cultivos anteriores. El manejo correcto del suelo asegura un buen desarrollo de las plantas: primero, arar y luego rastrear hasta dejar el suelo al mullido deseado. Esto se puede realizar con ayuda mecánica.

3.5.1.4 Incorporación de materia orgánica. Previo a la apertura de los surcos, se realizó la incorporación de materia orgánica con el propósito de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Para ello, se aplicaron 20 sacos de abono orgánico en el área total del experimento, que corresponde a 832 m². Esta enmienda contribuyó a incrementar la disponibilidad de nutrientes, mejorar la estructura del suelo y favorecer el desarrollo radicular de las plantas, creando un ambiente más propicio para el crecimiento y rendimiento del cultivo de fréjol

3.5.1.5 Siembra. Previo a la siembra, se humedeció el suelo para colocar el fertilizante previamente calculado. Se colocaron tres semillas por golpe a una distancia de 20 cm entre golpes.

3.5.1.6 Fertilización. En la tabla 12 se indican los fertilizantes utilizados en las diferentes épocas de aplicación. La aplicación de los bioestimulantes favorece el desarrollo de plantas con mayor vigor, activa el sistema inmunológico de las plantas y mejora la absorción de nutrientes. Por su parte, el fertilizante mineral contribuye a un mejor desarrollo vegetativo.

Tabla 12

Descripción de fertilizantes y sus respectivas dosis utilizadas en el ensayo

Producto	Dosis	Época de aplicación	Frecuencia
Enerplant *	1 g L^{-1}	Etapa V3 (Primera hoja trifoliada)	1 aplicación
Ecojambi *	5ml L^{-1}	Vegetativa (V4) y prefloración (R5)	2 aplicaciones con intervalo de 15 días
Green Máster**	5ml L^{-1}	Inicio de floración (R6), formación (R7) y llenado de vainas (R8)	3 aplicaciones con intervalo de 20 días

Nota: * Bioestimulante, ** fertilizante mineral

3.5.1.7 Riego. El riego varió de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona. En ausencia de lluvias, se aplicaron entre 10 riegos en todo el ciclo. A partir de la etapa de floración, los riegos se proporcionaron con mayor frecuencia. El riego se realizó por inundación de surcos a lo largo de cada surco, con la finalidad de dar la cantidad necesaria a la raíz.

3.5.1.8 Deshierbe y aporque. Las labores de limpieza se realizaron de manera manual con la ayuda de un azadón. Esta actividad se realizó a los 30 días después de la siembra. Paralelamente, también se realizó el aporque, con el fin de fortalecer las raíces.

3.5.1.9 Control fitosanitario. Una vez determinada la presencia de plagas y enfermedades, se realizó su respectivo control utilizando productos químicos y extractos naturales (Tabla 13). Para la preparación del macerado de higuerilla de acuerdo con lo establecido por Santillán (2020), se utilizaron 50 gramos de higuerilla molida por cada litro de agua. Este preparado se dejó reposar por 24 horas y finalmente se filtró para quitar las impurezas.

Tabla 13

Detalles de los productos utilizados para el control fitosanitario

Producto	Dosis	Época de aplicación	Frecuencia
Extracto de higuerilla *	100 ml L^{-1}	Desarrollo vegetativo (V4), hasta el llenado de vainas (R8)	5 aplicaciones intervalo de 15 días
Fosetyl aluminio **	1 g L^{-1}	Desarrollo vegetativo (V3)	2 aplicaciones intervalo de 15 días
Flubendiamide ***	0.5 ml L^{-1}	Desarrollo vegetativo (V3 y V4)	1 aplicación
Tiametoxam + Lambdacihalotrina ***	1.5 ml L^{-1}	Floración (R6) y formación de vainas (R7)	2 aplicaciones con intervalo de 10 días

Nota: * insecticida natural (preventivo y control de mosca blanca), ** fungicida (combatir pudrición de raíces causada por *Phytophthora* spp. y *Pythium* spp.), *** insecticida (control de áfidos, trips y mosca blanca).

3.5.1.10 Cosecha. La cosecha se realizó cuando se identificó el cambio de color del follaje y de las vainas a tonalidades amarillentas, así como por la caída progresiva de las hojas. En esta etapa, las semillas presentaron un contenido de humedad adecuado para su recolección. Durante el proceso, se elaboraron y se colocaron etiquetas de identificación en cada accesión, con el propósito de mantener la trazabilidad del material y evitar confusiones en las fases posteriores de secado, trilla y almacenamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente investigación se evaluaron 208 accesiones de fréjol. Durante el proceso de regeneración se identificó que cinco accesiones presentaron limitaciones en su viabilidad y adaptación. Según los datos de pasaporte, estas accesiones presentaron un porcentaje de germinación del 80% en condiciones controladas, valor inferior al umbral óptimo establecido para su conservación. Adicionalmente, se registró la presencia de microorganismos asociados, con incidencias entre el 10% y el 20% de hongos y bacterias, lo que evidencia un deterioro fisiológico y sanitario de las semillas. Por lo cual, se registraron datos de 203 accesiones como parte del proceso de regeneración y caracterización de la colección de fréjol del banco de germoplasma del INIAP. Para los cuales se consideraron variables agronómicas y morfológicas, lo cual permite identificar la variabilidad entre accesiones.

4.1 Caracterización morfoagronómica

Las variables morfoagronómicas fueron analizadas a través de medidas resumen como el valor mínimo, el valor máximo, los promedios y el coeficiente de variación (CV). El coeficiente de variación en ensayos agrícolas en campos se considera bajo cuando es inferior a 10%, medio de 10% a 20%, alto cuando va de 20% a 30% y muy alto cuando supera el 30% (Pimentel, 1985).

4.1.1 Porcentaje de germinación

En las 203 accesiones evaluadas, el porcentaje de germinación presentó una media de 77.44% aproximadamente, evidenciando una adecuada capacidad de germinación en la mayoría de la población. No obstante, se observó una alta variabilidad entre accesiones, reflejada en un coeficiente de variación de 26.97%, lo que indica una respuesta de germinación heterogénea dentro del conjunto de materiales. Los valores registrados oscilaron entre un mínimo de 5% y un máximo de 100%, mostrando que mientras algunas accesiones tuvieron germinación extremadamente baja, otras alcanzaron el máximo porcentaje de germinación bajo las condiciones de Chaltura.

El reporte emitido por el INIAP sobre la viabilidad de las semillas, previo a la siembra, reveló que el 26.44% de las accesiones se encontraba por debajo del 85% de germinación. Lo cual ratifica la necesidad de realizar un proceso de regeneración. Según la FAO (2014), los bancos

de semillas deben mantener niveles superiores al 85% de viabilidad para asegurar una conservación eficiente. De tal manera que el deterioro observado en el laboratorio anticipaba las dificultades de establecimiento que se manifestaron posteriormente en las condiciones de campo.

Al contrastar los resultados con el estándar del 60% de germinación establecido por la FAO (2006) para semillas de calidad declarada, se observó que el 17.24% de las accesiones no alcanzó este umbral mínimo. Sin embargo, es fundamental considerar que las muestras evaluadas no corresponden a variedades mejoradas o certificadas, sino a colectas de variedades locales provenientes de diversas provincias del país. Las semillas criollas o nativas poseen una base genética amplia que, a diferencia de los materiales comerciales, puede resultar en tasas de germinación irregulares (Rao et al., 2007). La marcada heterogeneidad en la germinación y la nula adaptación de cinco accesiones evidencian un proceso de deterioro fisiológico irreversible en ciertos genotipos.

4.2 Días a cada etapa fenológica

4.2.1 Días a la emergencia

Las accesiones evaluadas alcanzaron el 50% de germinación en un intervalo de 5 a 11 días después de la siembra (Tabla 14), evidenciando variabilidad en la velocidad de emergencia entre los materiales analizados. El genotipo más precoz fue ECU-2802, el cual emergió a los cinco días, mientras que las accesiones ECU-2821, ECU-2895, ECU-3026, ECU-3027, ECU-3044, ECU-3090, ECU-3126, ECU-3134, ECU-3167 y ECU-3200 presentaron un comportamiento más tardío, alcanzando la emergencia a los 11 días.

Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por Velázquez et al. (2008), quienes señalan que la emergencia del fréjol ocurre entre 9 y 14 días después de la siembra. Asimismo, este autor señala que los materiales nativos tienden a presentar una germinación más tardía. De manera similar, Shree (2001) establece un rango óptimo de emergencia entre 5 y 14 días, lo cual coincide con los valores obtenidos en el presente estudio.

Por otra parte, Ulcuango (2018) reportó que en materiales locales cultivados en Chaltura la emergencia se presentó entre 9 y 12 días bajo condiciones agroclimáticas específicas de la zona. En este contexto, las diferencias observadas entre accesiones podrían atribuirse tanto a la variabilidad genética propia de cada genotipo como a su interacción con las condiciones ambientales; en particular, el material ECU-2802, originario de la provincia de Loja, destacó

por su precocidad, superando en velocidad de emergencia a las variedades locales evaluadas en otros estudios.

Tabla 14

Medidas resumen para las variables días a cada etapa fenológica del fréjol

Variable	Media	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
Días a la emergencia	8.56	11.97	5	11
Días a la floración	58.24	13.84	42	89
Días a la madurez fisiológica	90.29	10.94	75	142
Días a la cosecha	114.01	10.94	93	165

4.2.2 Días a la floración

Las accesiones presentaron un promedio de 58 días a la floración**,** con un coeficiente de variación de 13% y un rango mínimo de 42 y máximo de 89 días (Tabla 14)**.** Estos resultados indican una variabilidad fenológica moderada dentro de la colección, con materiales precoces y tardíos claramente diferenciados. Las accesiones ECU-2776 y ECU-2777 fueron las más precoces en alcanzar esta fase fenológica, mientras que ECU-2617 y ECU-2625 fueron las más tardías.

Según Peralta et al. (2013), los días a la floración en variedades mejoradas por INIAP ocurren entre 42 y 55 días después de la siembra. Por otra parte, en variedades volubles la floración inicia entre 70 y 95 días (Peralta et al., 1994). Los materiales evaluados se encuentran dentro de los rangos reportados por los autores, evidenciando que la variabilidad observada responde a características genéticas propias y relacionadas con los diferentes hábitos de crecimiento. Adicionalmente, los autores destacan que los materiales con un hábito de crecimiento voluble priorizan una fase vegetativa más extensa, lo cual facilita el desarrollo de más ramificaciones.

4.2.3 Días a la madurez fisiológica

La variable días a la madurez fisiológica presentó una media de 90 días, con un coeficiente de variación del 10 %, y un rango comprendido entre 75 y 142 días, lo que evidencia una variabilidad moderada en el comportamiento fenológico del material evaluado (Tabla 14). Las accesiones más precoces están representadas por 21 accesiones, ECU-2801, ECU-2802, ECU-2807, ECU-2808, ECU-2821, ECU-2831, ECU-2832, ECU-2834, ECU-2839, ECU-2841, ECU-2850, ECU-2851, ECU-2853, ECU-2892, ECU-2895, ECU-2896, ECU-2901, ECU-3018, ECU-3041, ECU-3042 y ECU-3044, evidenciando un desarrollo acelerado del ciclo del cultivo. En contraste, las accesiones ECU-3833, ECU-3839, ECU-3841 y ECU-3843 fueron

las más tardías en alcanzar la madurez fisiológica; estos materiales con hábito de crecimiento voluble.

Estos resultados son cercanos a los expuestos en el catálogo de variedades de fréjol donde se especifica que los días a la madurez fisiológica en variedades arbustivas se encuentran entre 79 y 110 días (Peralta et al., 2013); las accesiones evaluadas fueron más precoces con tres días. De la misma manera, para las variedades de hábito de crecimiento voluble entre 150 y 170 días (Peralta et al., 1994), las accesiones volubles difieren en ocho días de lo reportado por el autor. Para Beebe et al. (2013), los días a la madurez fisiológica son la relación entre el genotipo y el ambiente en el que se desarrolla el cultivo.

4.2.4 Días a la cosecha

La variable días a la cosecha presentó una media de 114 días, con un coeficiente de variación de 10.94 % y un rango entre 93 y 165 días, lo que evidencia una variabilidad moderada en el tiempo requerido para alcanzar la cosecha (Tabla 14). El material más precoz fue nuevamente ECU-2802 de crecimiento arbustivo determinado; por el contrario, los más tardíos coincidieron con los de madurez fisiológica: ECU-3833, ECU-3839, ECU-3841 y ECU-3843, siendo estos de hábito de crecimiento voluble. Esta consistencia indica que estos materiales tardíos poseen un ciclo de cultivo largo.

Según Aybar et al. (2019), las etapas fenológicas del cultivo de fréjol están relacionadas con el genotipo y su interacción con el ambiente en el que se desarrolla. Los días a la cosecha en variedades con hábito de crecimiento arbustivo comprenden un rango de 95 a 122 días, mientras que para las variedades volubles se encuentran entre 170 y 200 días después de la siembra (Peralta et al., 1994; 2013). Los resultados obtenidos se alinean con lo mencionado por los autores, resaltando la variabilidad genética dentro de la colección.

4.3 Características de la arquitectura de la planta

4.3.1 Longitud de tallo

Durante la evaluación de la longitud de tallo, las accesiones con hábito de crecimiento voluble no fueron evaluadas, dado que su crecimiento es trepador e indeterminado y está condicionado por la presencia de tutorado o guía. Del total de la colección, 13 accesiones pertenecen a este grupo. Por lo cual se presentan los resultados para los hábitos de crecimiento arbustivo determinado e indeterminado y para los semivolubles.

La longitud de tallo mostró una media de aproximadamente 72 centímetros, con un coeficiente de variación alto (35.61%) y un rango mínimo de 25 y máximo de 171 cm (Tabla 15). Este comportamiento revela una marcada variabilidad en el porte de las plantas, lo cual indica la presencia de accesiones de diferentes hábitos de crecimiento. La accesión ECU-2802 es la planta con tallo más corto, con hábito de crecimiento arbustivo determinado, mientras que ECU-2777 presenta el tallo más largo y tiene un hábito de crecimiento semivoluble.

De acuerdo con Vásquez (2024), quien señala que la altura de planta es uno de los rasgos más variables en las colecciones de frejol común debido a la coexistencia de tipos de crecimiento. Además, Rodríguez (2024) menciona que en una caracterización morfológica de accesiones de *Phaseolus*, también observó amplios rangos de longitud de tallo, lo que indica que este rasgo es un descriptor clave para diferenciar grupos dentro del germoplasma. Por tanto, la variabilidad registrada en este estudio coincide con lo documentado en la literatura.

Tabla 15
Características de la arquitectura de la planta de fréjol

Variable	Media	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
Longitud de tallo (cm)	72.65	35.61	25.07	171
Longitud de la hoja (cm)	8.65	12.18	5.32	11.69
Ancho de la hoja (cm)	6.92	14.3	5.05	15.24

4.3.2 Longitud y ancho de la hoja (folíolo central)

La longitud del foliolo central presentó una media aproximada de ocho centímetros, con un coeficiente de 12.18% y un valor mínimo de 5 y máximo de 11 cm (Tabla 15). A diferencia de la longitud de tallo, aquí se observó una variación moderada, lo que indica una mayor uniformidad entre las accesiones. El material con menor longitud de hoja corresponde a ECU-13835 y con mayor longitud a ECU-2101.

De manera similar, el ancho de hoja registró una media de aproximadamente 6 cm, un coeficiente de variación de 14% y un rango mínimo de 5.05 y máximo de 15.24 cm (Tabla 9). La accesión ECU-13835 fue la más angosta, mientras que la accesión ECU-2833 presentó el foliolo más ancho. Aunque el coeficiente de variación fue moderado, el rango obtenido evidencia una diversidad importante en cuanto a la forma y amplitud de las hojas.

4.4 Características de las vainas y semillas

4.4.1 Longitud y ancho de la vaina de fréjol

En esta variable, se registró a ECU-2473 con el valor mínimo de 5.05 cm, el valor máximo para ECU-3024 con 15.24 cm, y un promedio de 11.47 cm con un coeficiente de variación del 12.58 %, lo que indica un nivel moderado de variabilidad entre los materiales evaluados (Tabla 16). Por su parte, el ancho de la vaina mostró una media de 0.92 cm, con un coeficiente de variación de 12.58 % y un rango entre 0.66 (ECU-13835) y 1.24 (ECU-2101) cm, lo que refleja una variación moderada.

Al comparar estos resultados con lo reportado por Tabango (2021), quien evaluó fréjoles nativos de la provincia de Imbabura y registró valores de longitud de la vaina entre 8 y 39 centímetros aproximadamente, y del ancho de 0.62 a 4.76 centímetros. Esto evidencia que el fréjol nativo de Imbabura es más grande y ancho que los materiales de la provincia de Loja. De esta manera, se puede evidenciar que estas características son propias de cada genotipo.

Tabla 16
Medidas resumen para las características de la vaina y semilla

Variable	Media	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
Longitud de vaina (cm)	11.47	14.93	5.05	15.24
Ancho de la vaina (cm)	0.92	12.58	0.66	1.24
Semillas por vaina	5.29	13.38	2.90	6.80
Longitud de la semilla (cm)	1.21	17.44	0.67	1.701
Ancho de la semilla (cm)	0.71	12.43	0.46	0.91

4.4.2 Semillas por vaina

El resultado obtenido para la variable semillas por vaina se muestra en la Tabla 16; se registró una media de cinco semillas, un coeficiente de variación de 13.38 %. La accesión ECU-2473 presentó el valor mínimo de tres semillas; por su parte, ECU-3104 registró el valor máximo con la presencia de aproximadamente siete semillas.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Tabango (2021), quien registró entre dos y ocho semillas por vaina. Esta similitud sugiere que, aunque el fréjol nativo de Imbabura presentó mayor longitud de vainas en comparación con las de Loja, esta característica no se tradujo en mayor número de semillas. Según Beebe et al. (2013), se menciona que, aunque las condiciones ambientales influyen en el llenado de vaina, el potencial máximo de las semillas está determinado por el genotipo de cada material.

4.4.3 Longitud y ancho de la semilla

En la tabla 16 se presentan los resultados de las variables longitud y ancho de las semillas. Para la variable longitud de la semilla, la accesión ECU-2473 presentó 0.67 centímetros,

mientras que las accesiones ECU-3024 y ECU-2880 presentaron la mayor longitud, de 1.70 centímetros, con una media de 1.21 cm, con un coeficiente de variación de 17.44 %.

Por su parte, el ancho de la semilla mostró una media de 0.71 cm, con un coeficiente de variación del 12.43 %, lo que indica una variación moderada, y un valor mínimo de 0.46 cm y un valor máximo de 0.91 cm. La accesión ECU-2848 presentó el valor máximo, mientras que ECU-2473 presentó menor anchura de la semilla.

La accesión ECU-2473 presentó vainas más cortas y angostas; esto también se reflejó en semillas pequeñas; por el contrario, ECU-3024 presentó vainas largas y también semillas de mayor longitud. Esto evidencia que la longitud y el ancho de la vaina están relacionados con el tamaño de la semilla. Además, según Gonzales et al. (2020), las características del tamaño de semilla tienden a registrar variaciones limitadas, por lo que la dispersión puede atribuirse a características genéticas propias de cada accesión.

4.5 Características de rendimiento

4.5.1 Peso de 100 semillas

La variable peso de 100 semillas alcanzó una media de 31 g, con un coeficiente de variación elevado del 41,48 %, y un valor mínimo para ECU-2473 de 5.60 g y valor máximo de 71 g para la accesión ECU-3841 (Tabla 17). Estos valores indican que en la colección se encuentran materiales sumamente diversos.

Por otro lado, Peralta et al. (2013) señalan que el peso de 100 semillas de variedades mejoradas de fréjol arbustivo oscila entre 18 y 62 g. En el caso del fréjol de hábito voluble, se han reportado pesos de entre 47 y 65 g (Peralta, 1994, 1999; INIAP, 2010). Sin embargo, en la colección se identificó a ECU-2473 como material de hábito de crecimiento voluble y con vainas y semillas pequeñas, lo cual indica que estos rasgos son propios de cada genotipo.

Conforme a lo expuesto por Morales et al. (2019), las semillas de fréjol se pueden categorizar de acuerdo con su peso. Estas se dividen en cuatro categorías: pequeñas (<15 g), medianas (15-20 g), grandes (20.1-25 g) y muy grandes (>25 g). Parte de la colección: el 52% de las semillas se encuentra en la categoría de muy grandes, el 27% forma parte de las semillas grandes, el 18% de semillas medianas y, finalmente, el 3% de semillas pequeñas. De esta manera se puede evidenciar la presencia de gran diversidad de semillas de fréjol.

Tabla 17
Características de rendimiento

Variable	Media	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
Peso de 100 semillas (g)	31.75	41.48	5.60	71
Rendimiento por planta (g)	23.60	47.93	0.22	68.50
Daño en postcosecha (%)	6.48	104.05	0.30	40

4.5.2 Rendimiento por planta

Para esta variable se registró una media de 23.60 g, con un coeficiente de variación del 47.93 % y valores que oscilaron entre 0.22 g (ECU-2473) y 68.50 g (ECU-2834), lo que evidencia una variabilidad extremadamente alta (Tabla 17). Este elevado CV indica una marcada heterogeneidad entre las accesiones evaluadas. Según Smith & Rao (2021), los genotipos de crecimiento indeterminado o volubles suelen poseer un mayor número de nudos reproductivos, lo que permite extender el periodo de llenado de vainas. No obstante, en este estudio se observó que el hábito de crecimiento arbustivo indeterminado alcanzó un mayor rendimiento.

Por otra parte, Ríos et al. (2014) mencionan que el rendimiento es un rasgo complejo influenciado por diversos factores genéticos y agronómicos. En el caso de la accesión ECU-2473, su bajo rendimiento se asocia a su genética de semillas pequeñas y a una deficiente adaptación a las condiciones de Chaltura. Es relevante notar que, aunque tanto la accesión con el rendimiento mínimo (ECU-2473) como la del rendimiento máximo (ECU-2834) provienen de la provincia de Loja, expresaron comportamientos opuestos. Esto confirma que el éxito productivo está determinado por la interacción entre la genética, el manejo del cultivo y las condiciones ambientales locales, permitiendo que ciertos materiales de una misma zona geográfica se adapten mejor que otros a nuevos entornos.

4.5.3 Daño en postcosecha

El daño en postcosecha mostró una media aproximada de 6%, con un coeficiente de variación extremadamente alto de 104,05 % y valores entre 0,30 % y 40 %, lo que refleja variabilidad muy elevada y presencia de valores extremos. La accesión ECU-2437 fue la de menor porcentaje de daño, mientras que la ECU-3841 fue la que presentó mayor daño.

De los resultados obtenidos en la investigación, 12 accesiones presentaron daño poscosecha causado por gorgojo superior al 15%. Según Peralta (1994), esto puede ser altamente influenciado por factores como susceptibilidad varietal, condiciones de almacenamiento y humedad de la semilla, lo que explicaría la dispersión observada.

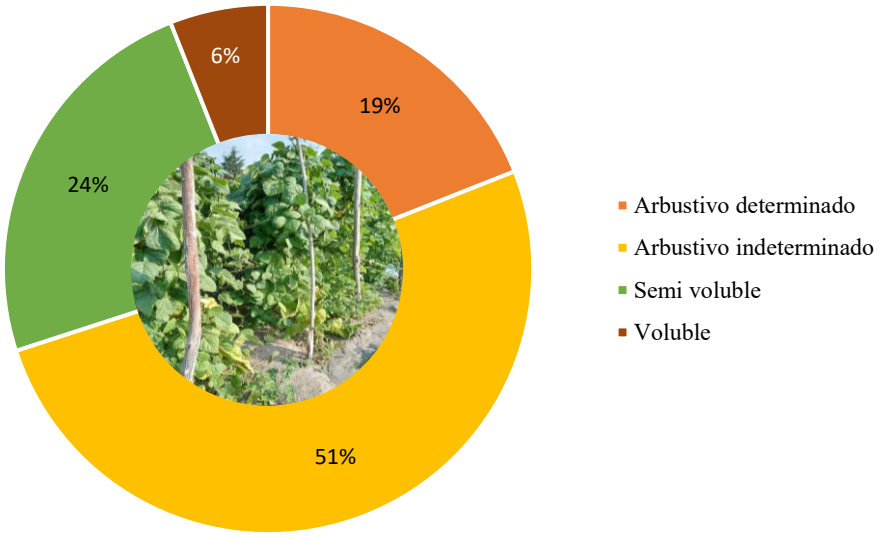
4.6 Variabilidad morfológica de datos cualitativos presentes en la colección

4.6.1 Hábito de crecimiento presentes en la colección de fréjol del INIAP

El CIAT indica cuatro tipos de hábitos de crecimiento del fréjol: arbustivo determinado e indeterminado, semi voluble y voluble. En la colección se observó un predominio del hábito arbustivo. La mayoría de las accesiones correspondió al hábito arbustivo indeterminado (51%), seguido del hábito semi voluble (24%) y del arbustivo determinado (19%). El hábito voluble estuvo representado únicamente por el 6% de los materiales, tal como se muestra en la figura 14. Esta distribución indica que la colección está compuesta mayoritariamente por plantas de tipo arbustivo indeterminado.

Figura 14

Hábitos de crecimiento presentes en la colección



4.6.2 Características de la flor del fréjol

En la colección de fréjol se identificaron tres colores principales para las alas: blanco, rosa y púrpura; los mismos se presentaron en el estandarte de la flor y se agregó el color amarillo verdoso y para la quilla se presentó el color blanco y verde amarillento (Figura 15). El color de las alas de la flor presentó: púrpura violácea (42%), blanco (33%) y el color rosa (25%), tal como lo indica la tabla 18.

Tabla 18

Frecuencia de las características del color de la flor de fréjol

Variable	Clase	Carácter	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Color de las alas	1	Púrpura violácea	85	42
	2	Blanco	67	33
	3	Rosa	51	25
Color del estandarte	1	Purpura	95	45
	2	Blanco	45	22
	3	Rosa	45	22
	4	Amarillo verdoso	9	10
Color de la quilla	1	Verde amarillento	1	0.5
	2	blanco	202	99.5

Al igual que las alas de la flor, a nivel de estandarte, se apreció una alta variabilidad (Tabla 18). La tonalidad predominante fue el púrpura violáceo fuerte (38%), seguida del color blanco (22%). Colores como rosa violáceo pálido y amarillo pálido verdoso alcanzaron el 10% cada uno, mientras que otras variantes presentaron frecuencias menores al 10%, como por ejemplo el color rosa violáceo claro**.**

El color de la quilla presentó una variabilidad reducida. La mayoría de las accesiones mostró la tonalidad verde amarillento claro (96%), mientras que los colores amarillo verde fuerte (1%), amarillo verde moderado (1.5%) y blanco (0.5%) fueron los colores menos frecuentes en la colección.

Figura 15

Colores del órgano floral presente en la colección de fréjol



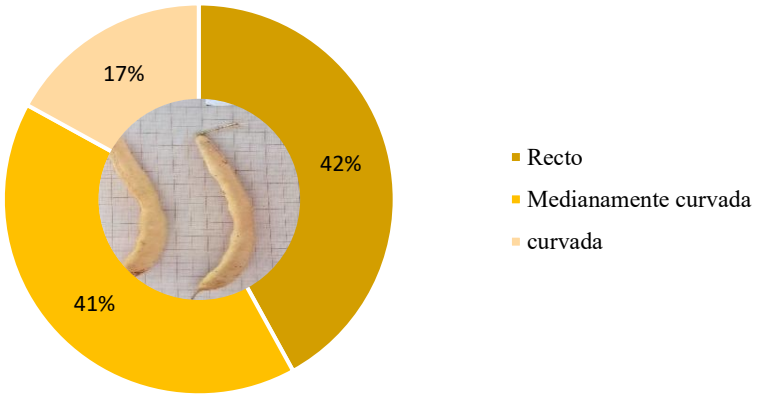
Nota: A). Alas, estandarte y quilla de color blanco, B). Alas de color blanco, estandarte y quilla de color verde amarillento, C) alas y estandarte de color rosa y quilla de color verde amarillento y D). Alas y estandarte púrpura violáceo y quilla verde amarillenta.

4.6.3 Formas de la vaina de fréjol

Respecto a la forma de la vaina, la población mostró una distribución equilibrada entre las formas rectas (42%) y medianamente curvadas (41%), mientras que la forma curvada

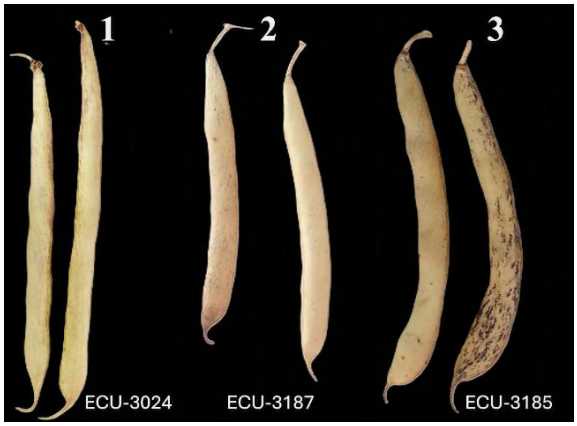
representó el 17%. Las frecuencias de las formas de las vainas se muestran en las figuras 16 y 17.

Figura 16
Porcentaje de las formas de las vainas de fréjol



De acuerdo con el CIAT (1987), los perfiles de las vainas adquieren formas diferentes según la variedad. Las formas presentadas corresponden a: recto, medianamente curvo, curvado y recurvado. Sin embargo, en la colección se observaron 3 formas de vainas.

Figura 17
Formas de las vainas presentes en la colección

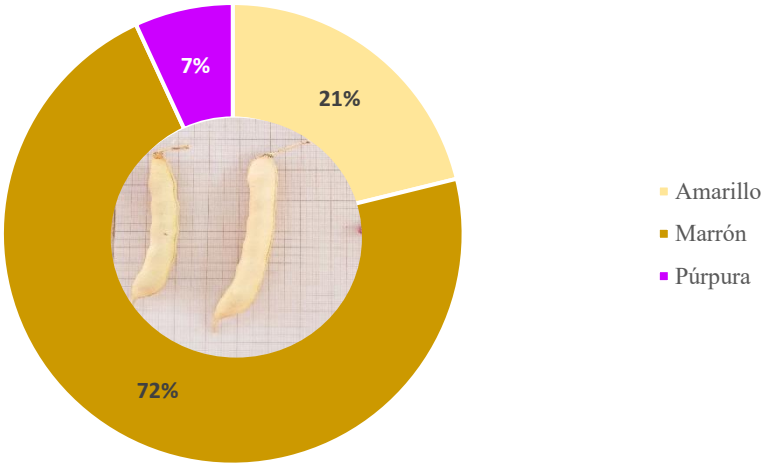


Nota: 1= recto, 2= medianamente curvo y 3= curvado

4.6.4 Color de la vaina del fréjol al momento de la cosecha

En la figura 18 se muestra que el porcentaje de color de las vainas dentro de la colección estuvo formado por 3 colores: amarillo, marrón y púrpura. El color más representativo fue marrón con 72%, seguido por el color amarillo (21%) y finalmente el color púrpura grisáceo.

Figura 18
Color de las vainas del fréjol al momento de la cosecha



En la Figura 19 se ilustra la variabilidad de colores de las vainas. Se observa la accesión ECU-3139 como referente de coloración amarilla, la ECU-3083 para el grupo de vainas marrones y, finalmente, la accesión ECU-3123 como ejemplar de la coloración púrpura.

Figura 19
Colores de las vainas presentes en la colección de fréjol



Nota: 1= amarillo, 2= marrón y 3= púrpura

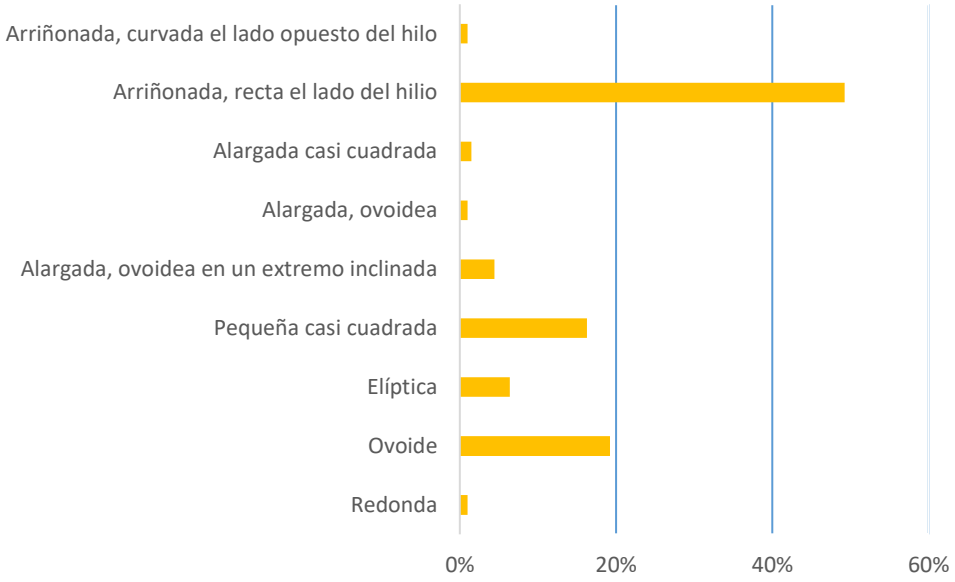
4.6.5 Forma de la semilla

La forma de la semilla mostró una de las mayores diversidades dentro de los caracteres analizados. La forma más frecuente fue la arriñonada recta en el lado del hilo (49%), considerada típica en numerosas variedades de *Phaseolus vulgaris*. Le siguieron las formas

ovoides (19%) y pequeñas casi cuadradas (16%), mientras que el resto de las morfologías, incluyendo formas elípticas y alargadas, apareció con frecuencias menores (Figura 20). Esta amplitud fenotípica evidencia la gran variabilidad para este carácter.

Figura 20

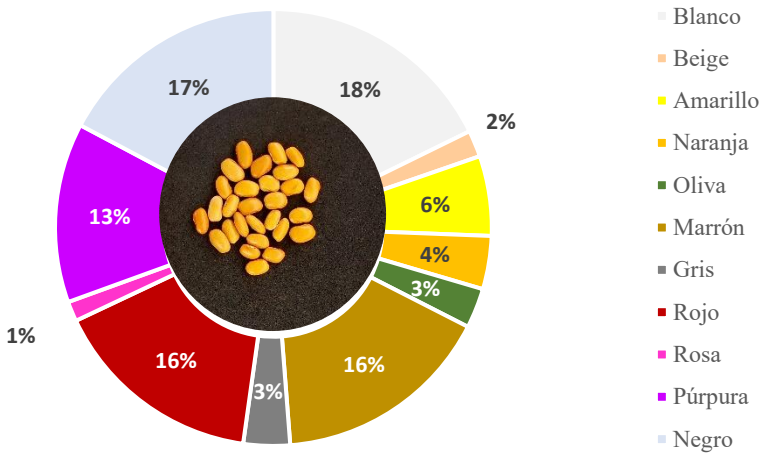
Porcentaje de las formas de la semilla presentes en la colección



4.6.6 Colores de la semilla

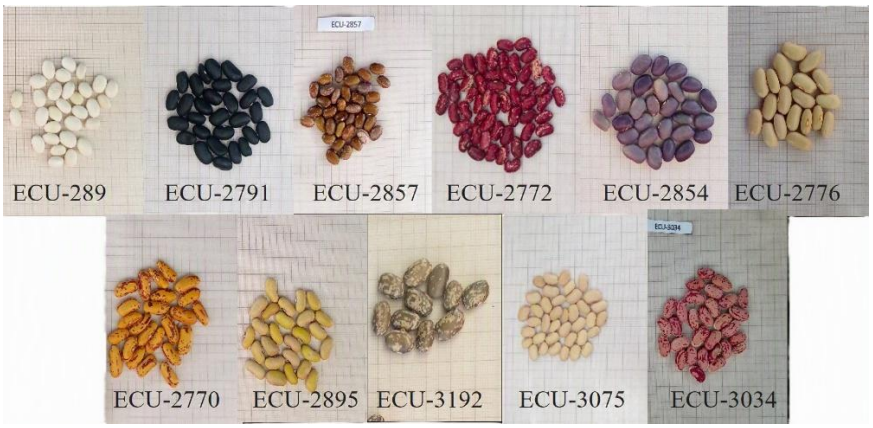
El color primario de la semilla presentó una variabilidad notablemente amplia con 28 tonalidades distintas, las cuales fueron agrupadas en 11 matices principales, convirtiéndose en uno de los caracteres más polimórficos de toda la colección. El color más representativo fue el blanco (18%), seguido del negro (17%), del marrón y del rojo (16%) y del púrpura (13%). Otros colores, incluyendo amarillo, beige, naranja, oliva, gris y rosa, se encontraron en porcentajes menores, aunque contribuyen significativamente a la diversidad global del germoplasma (Figura 21).

Figura 21
Colores de las semillas presentes en la colección nacional de fréjol



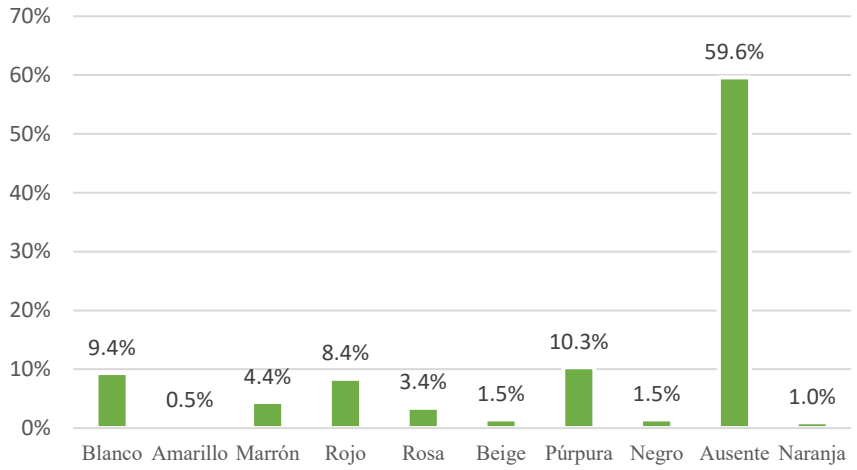
En la figura 22 se muestra la variación de colores presentes en la colección de fréjol de la provincia de Loja. En ella se pueden observar los matices principales de esta característica, aunque estos presentan diferencias en cuanto a la saturación o intensidad de colores.

Figura 22
Variabilidad de colores de las semillas en la colección nacional de fréjol



El color secundario de la semilla mostró que el 60% de las accesiones no presenta esta característica. Entre las accesiones que sí presentaron coloración secundaria, el color púrpura está presente en un 10%, el blanco en un 9% y el color rojo en un 8% dentro de la colección, mientras que el resto de las tonalidades apareció con muy baja frecuencia (< 5%) (Figura 23).

Figura 23
Colores secundarios presentes en la colección nacional de fréjol



4.7 Análisis de Componentes Principales (ACP) en la colección de fréjol

A través del análisis de Componentes Principales (ACP), se determinó que en tres ejes se explica el 615 de la variabilidad encontrada en la colección evaluada, siendo el eje 1 donde se explica el 335 de la variabilidad acumulada, seguido de CP2 con 18% y CP3 con el 10% (Tabla 19).

Tabla 19
Valores propios y proporción de la varianza explicada en análisis de componentes principales en la colección de fréjol de INIAP

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	4.97	0.33	0.33
2	2.63	0.18	0.51
3	1.51	0.1	0.61

El análisis de autovectores (Tabla 20) permitió identificar las variables con mayor ponderación en cada componente principal. En el Eje 1, los caracteres con mayor peso fueron la longitud y el ancho de vaina, la longitud y el ancho de la semilla, y el peso de 100 semillas. Por su parte, el Eje 2 estuvo influenciado principalmente por la longitud del tallo y las variables fenológicas (días a la floración, madurez fisiológica y cosecha). Finalmente, en el Eje 3 destacaron las dimensiones de la hoja y el rendimiento por planta; sin embargo, el porcentaje de germinación presentó una contribución negativa (-0.36).

Tabla 20

Vectores propios de los tres componentes principales en la caracterización de la colección de fréjol

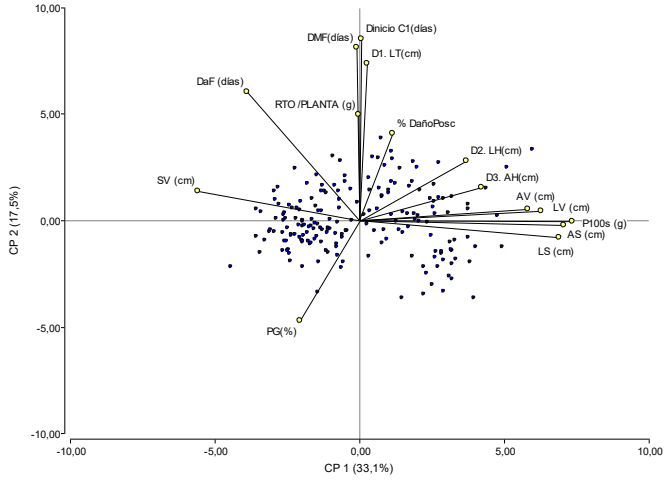
Variables	e1	e2	e3
LT (cm)	0.01	0.42	-0.20
LH (cm)	0.21	0.16	0.38
AH (cm)	0.24	0.09	0.43
LV (cm)	0.36	0.03	-0.07
AV (cm)	0.33	0.03	0.15
SV (cm)	-0.32	0.08	0.23
LS (cm)	0.39	-0.05	-0.19
AS (cm)	0.40	-0.01	-0.09
PG (%)	-0.12	-0.27	-0.36
DaF (días)	-0.22	0.35	-0.06
DMF (días)	-0.01	0.46	-0.20
Dinicio C1(días)	3.1E-03	0.49	-0.23
P100s (g)	0.42	-2.9E-03	-0.15
RTO /PLANTA (g)	-2.0E-03	0.28	0.45
% DañoPosc	0.06	0.23	-0.21

Nota: LT: longitud de tallo, LH: longitud de la hoja, AH: ancho de la hoja, LV: longitud de la vaina, AV: ancho de la vaina, SV: semillas por vaina, LS: longitud de semilla, AS: ancho de la semilla, PG: porcentaje de germinación, DaF: días a la floración, DMF: días a la madurez fisiológica, P100s: peso de 100 semillas.

En la figura 24, correspondiente al ACP del primer y segundo componente, se muestra que se acumuló el 50.6% de la variabilidad total de la colección con valores de 33.1% y 17.5% para CP1 y CP2, respectivamente. El CP1 estuvo determinado principalmente por características relacionadas al tamaño de las estructuras reproductivas de vainas y semillas y al peso de las semillas. Por su parte, el CP2 discriminó a las accesiones según su comportamiento fenológico y vegetativo.

Figura 24

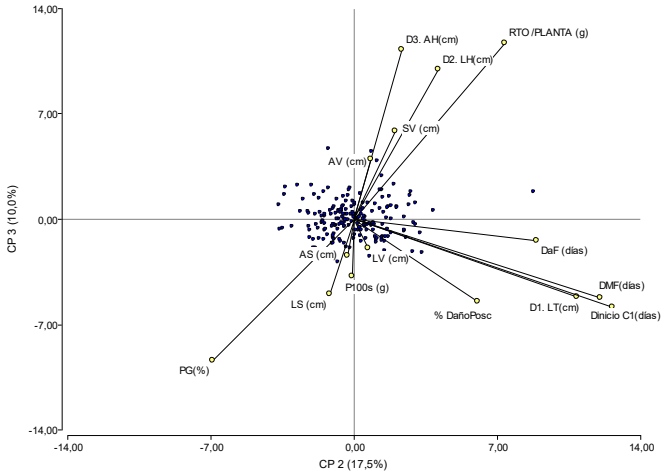
Distribución de las variables originales sobre el primero y segundo componente en la caracterización de fréjol



En la figura 25 se muestra la proyección del segundo y tercer componente principal, en la cual se explica el 27.5% de la variabilidad total acumulada; el CP2 explica el 17.5% y el CP3 explica el 10% de la variabilidad. El eje de CP2 continuó discriminando a las accesiones en función de las etapas fenológicas y la arquitectura de la planta. En cambio, el CP3 permitió observar las variaciones asociadas al rendimiento y a la arquitectura foliar.

Figura 25

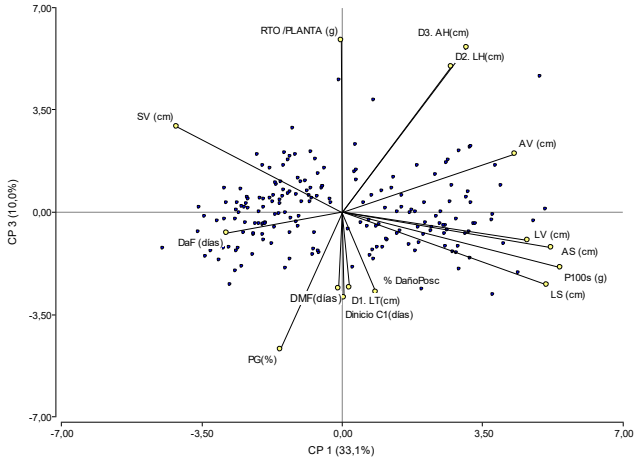
Distribución de las variables originales de accesiones sobre el segundo y tercer componente principal en la caracterización de la colección de fréjol



En la figura 26, se observa la proyección del primer y tercer componente principal, la cual acumuló el 43.10% de la varianza total, el 33.1% explicada por el CP1 y el 10% por el CP3. El CP1 continuó agrupando variables que describen los caracteres de la vaina y la semilla. Por su parte, el CP3 se separó en función de su productividad y desarrollo foliar. En contraste, el cuadrante negativo de CP3 agrupó variables fenológicas asociadas a la madurez y cosecha, además del porcentaje de germinación.

Figura 26

Distribución de las variables originales sobre el primer y tercer componente principal en la caracterización de la colección de fréjol

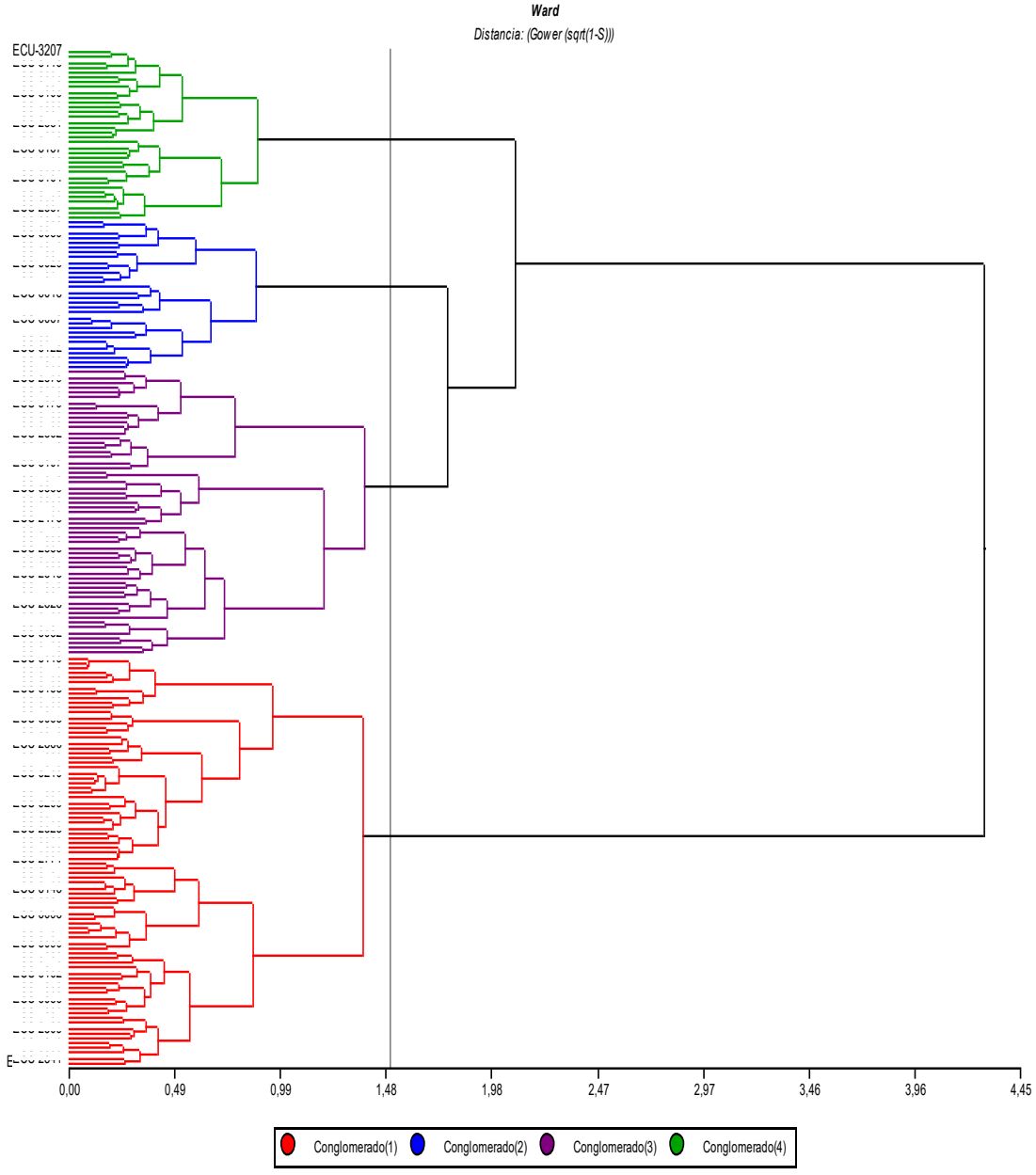


4.8 Análisis de agrupamiento de accesiones de fréjol del banco de germoplasma de INIAP.

El análisis de conglomerados fue realizado en 203 accesiones con el método de agrupamiento de Ward y la distancia de Gower. Los resultados permitieron identificar la conformación de 4 grupos de conglomerados con una correlación cofenética de 0.383 (Figura 27), aunque el valor de correlación es bajo, permite identificar grupos de accesiones que comparten características comunes.

Figura 27

Dendrograma obtenido del análisis de conglomerados para las 203 accesiones de fréjol



El grupo 1 estuvo conformado por 89 accesiones, las cuales se agruparon a una distancia de 1.39. El grupo 2 incluyó 30 accesiones, con una distancia de conglomeración de 0.90, lo que indica una mayor similitud entre los materiales que lo conforman. Por su parte, el grupo 3 estuvo integrado por 57 accesiones, agrupadas a una distancia de 1.40. Finalmente, el grupo 4 comprendió 34 accesiones, con una distancia de 0.89. En la tabla 21 se pueden observar las accesiones correspondientes a cada grupo.

Tabla 21

Lista de accesiones por grupos en la colección de germoplasma de INIAP

Conglomerado	Accesiones
1	ECU-13835, ECU-2771, ECU-2779, ECU-2791, ECU-2792, ECU-2809, ECU-2811, ECU-2812, ECU-2815, ECU-2824, ECU-2825, ECU-2827, ECU-2829, ECU-2832, ECU-2833, ECU-2834, ECU-2836, ECU-2839, ECU-2841, ECU-2843, ECU-2846, ECU-2853, ECU-2854, ECU-2865, ECU-2866, ECU-2876, ECU-2878, ECU-2883, ECU-2885, ECU-2886, ECU-2892, ECU-2893, ECU-2896, ECU-3035, ECU-3068, ECU-3069, ECU-3070, ECU-3072, ECU-3073, ECU-3074, ECU-3083, ECU-3084, ECU-3086, ECU-3090, ECU-3095, ECU-3098, ECU-3099, ECU-3102, ECU-3105, ECU-3110, ECU-3114, ECU-3117, ECU-3118, ECU-3119, ECU-3144, ECU-3145, ECU-3149, ECU-3152, ECU-3156, ECU-3158, ECU-3159, ECU-3160, ECU-3162, ECU-3163, ECU-3167, ECU-3168, ECU-3177, ECU-3182, ECU-3183, ECU-3190, ECU-3192, ECU-3193, ECU-3194, ECU-3196, ECU-3197, ECU-3199, ECU-3200, ECU-3202, ECU-3203, ECU-3208, ECU-3209 y ECU-3210
2	ECU-2772, ECU-2776, ECU-2778, ECU-2788, ECU-2797, ECU-2801, ECU-2802, ECU-2805, ECU-2807, ECU-2810, ECU-2819, ECU-2821, ECU-2837, ECU-2844, ECU-3018, ECU-3022, ECU-3024, ECU-3026, ECU-3027, ECU-3028, ECU-3029, ECU-3033, ECU-3034, ECU-3037, ECU-3041, ECU-3042, ECU-3044, ECU-3089, ECU-3122 y ECU-3123
3	ECU-2777, ECU-2814, ECU-2818, ECU-2826, ECU-2828, ECU-2835, ECU-2848, ECU-2849, ECU-2851, ECU-2852, ECU-2855, ECU-2862, ECU-2863, ECU-2864, ECU-2867, ECU-2873, ECU-2875, ECU-2879, ECU-2880, ECU-2895, ECU-2898, ECU-3082, ECU-3087, ECU-3093, ECU-3096, ECU-3106, ECU-3107, ECU-3109, ECU-3116, ECU-3126, ECU-3132, ECU-3133, ECU-3134, ECU-3138, ECU-3142, ECU-3154, ECU-3155, ECU-3178, ECU-3179, ECU-3180, ECU-3185, ECU-3187, ECU-3188, ECU-3189, ECU-2098, ECU-2100, ECU-2101, ECU-2467, ECU-2469, ECU-2473, ECU-2617, ECU-2625, ECU-2770, ECU-3833, ECU-3839, ECU-3841 y ECU-3843
4	ECU-2808, ECU-3066, ECU-2831, ECU-2882, ECU-2901, ECU-2850, ECU-3170, ECU-2860, ECU-2887, ECU-3094, ECU-3148, ECU-3097, ECU-3085, ECU-2856, ECU-3173, ECU-3207, ECU-3166, ECU-3100, ECU-3115, ECU-3147, ECU-2857, ECU-2881, ECU-3146, ECU-3143, ECU-3075, ECU-3137, ECU-3139, ECU-3186, ECU-3078, ECU-3079, ECU-3129, ECU-3080, ECU-3164 y ECU-3104

4.9. Variabilidad de las características cuantitativas de la colección de fréjol a nivel grupal.

Las características cuantitativas mostraron la variabilidad de la colección y la relación entre cada grupo, a través de la prueba de Fisher al 5%. El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los cuatro grupos formados por el análisis de conglomerados para la mayoría de los descriptores evaluados, lo que confirma la existencia de variabilidad entre los grupos (Tabla 22).

Tabla 22

Análisis de varianza para los conglomerados conformados en la colección de fréjol de INIAP

Descriptor	C1	C2	C3	C4	CV	P-valor
PG	83.54 ± 2.25A	72. 5 ± 3.72B	74.56 ± 2.70B	71.91 ± 3.50B	26.35	0.0063
DaF	58.85 ± 0.77B	48.83 ± 1.27C	62.16 ± 0.92A	58.47 ± 1.19B	11.9	<0.001
LT	67.19 ± 1.96C	41.05 ± 3.24D	100.81 ± 2.67A	77.24 ± 3.04B	24.41	<0.0001
LH	8.47 ± 0.11A	9.11 ± 0.11A	8.91 ± 0.13A	8.25 ± 0.17B	11.75	0.0006
AH	6.69 ± 10 B	7.39 ± 0.17A	7.24 ± 0.12B	6.53 ± 0.16B	13.09	<0.0001
DMF	86.98 ± 1.26BC	82.97 ± 2.09C	99.74 ± 1.52A	88.88 ± 1.96B	12.67	<0.001
DC	110.48 ± 1.19BC	106.5 ± 1.97C	123.86 ± 1.43A	112.68 ± 1.85B	9.45	<0.0001
LV	10.23 ± 0.16B	13.23 ± 0.26A	12.12 ± 0.19B	10.36 ± 0.24C	12.35	<0.0001
AV	0.9 ± 0.01C	1.01 ± 0.02A	0.96 ± 0.01B	0.84 ± 0.02D	11.17	<0.0001
SV	5.68 ± 0.06A	4.48 ± 0.10C	4.95 ± 0.07B	5.66 ± 0.006A	10.22	<0.0001
LS	1.1 ± 0.02C	1.47 ± 0.03A	1 32 ± 0.02B	1.06 ± 0.03C	12.5	<0.0001
AS	0.66 ± 0.01B	0.79 ± 0.01A	0.77 ± 0.01A	0.66 ± 0.01B	9.35	<0.0001
Rto/planta	23.65 ± 1.26AB	20.04 ±2.09B	22.98 ± 1.51AB	27.66 ± 1.96 AB	48.41	0.0641
P100	22. 83 ± 0.87C	48.00±1.44A	41.48 ± 1.04B	22.59 ± 1.35C	24.79	<0.0001
% Daño post	5.27 ± 0.71B	5.24 ± 1.18B	9.8 ± 0.85A	4.88 ± 1.11B	99.66	0.0002

Nota: LT: longitud de tallo, LH: longitud de la hoja, AH: ancho de la hoja, LV: longitud de la vaina, AV: ancho de la vaina, SV: semillas por vaina, LS: longitud de semilla, AS: ancho de la semilla, PG: porcentaje de germinación, DaF: días a la floración, DMF: días a la madurez fisiológica, DC: días a la cosecha, P100s: peso de 100 semillas

El conglomerado 1 (C1) destacó por presentar el mayor porcentaje de germinación (83.54 %), superando estadísticamente a los demás grupos. Este comportamiento sugiere que los materiales agrupados en C1 poseen mayor vigor y capacidad de establecimiento inicial, atributos importantes para garantizar una adecuada emergencia y desarrollo del cultivo. Además, este conglomerado presentó un elevado número de semillas por vaina (5.68), estadísticamente similar al C4, aunque con menor tamaño y peso de semilla. Asimismo, registró valores intermedios en longitud de vaina (10.23 cm) y uno de los menores pesos de 100 semillas (22.83 g), indicando que estos materiales compensan el menor tamaño individual de las semillas mediante una mayor cantidad de semillas producidas por la estructura reproductiva. De igual manera, presentó un bajo porcentaje de daño postcosecha (5.27 %), característica favorable desde el punto de vista de la conservación y almacenamiento.

Por otro lado, el conglomerado 2 (C2) se caracterizó por presentar el ciclo fenológico más corto, registrando los menores valores en días a la floración (48.83 días), madurez fisiológica (82.97 días) y cosecha (106.5 días). Estas características indican que los materiales pertenecientes a este grupo poseen comportamiento precoz, lo cual representa una ventaja agronómica en ambientes con limitaciones hídricas o periodos cortos de cultivo, permitiendo completar su ciclo antes de la ocurrencia de condiciones ambientales adversas. A pesar de presentar la menor longitud de tallo (41.05 cm), este conglomerado registró los mayores valores

en longitud de hoja (9.11 cm) y ancho de hoja (7.39 cm). Además, destacó por presentar los mayores valores en longitud de vaina (13.23 cm), ancho de vaina (1.01 cm), longitud de semilla (1.47 cm), ancho de semilla (0.79 cm) y peso de 100 semillas (48.00 g), diferenciándose significativamente de los demás grupos. Estos resultados evidencian que los materiales agrupados en C2 poseen semillas de mayor tamaño y peso, características asociadas con una mayor acumulación de reservas y mejor calidad comercial. Sin embargo, este conglomerado presentó el menor número de semillas por vaina, aproximadamente 4 semillas, lo que sugiere una posible relación inversa entre tamaño y cantidad de semillas producidas.

El conglomerado 3 (C3) presentó el comportamiento más tardío entre todos los grupos evaluados, alcanzando los mayores valores en días a la floración (62.16 días), madurez fisiológica (99.74 días) y cosecha (123.86 días). Asimismo, destacó por presentar la mayor longitud de tallo (100.81 cm), indicando un mayor vigor vegetativo y capacidad de crecimiento longitudinal. Estas características podrían favorecer una mayor intercepción de luz y competitividad en campo. Además, este conglomerado registró vainas relativamente largas (12.12 cm) y semillas de tamaño intermedio, mostrando un equilibrio entre crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo. Sin embargo, presentó el mayor porcentaje de daño postcosecha (9.8 %), diferenciándose significativamente de los demás conglomerados. Este comportamiento podría indicar una mayor susceptibilidad al deterioro fisiológico o al ataque de agentes biológicos durante el almacenamiento, posiblemente debido al mayor tiempo de permanencia en campo y exposición a condiciones ambientales adversas.

Finalmente, el conglomerado 4 (C4) mostró un comportamiento intermedio para la mayoría de las variables evaluadas, con valores cercanos a C1 en días a la floración y daño postcosecha, aunque con menor porcentaje de germinación. Este conglomerado presentó una longitud de tallo relativamente alta (77.24 cm), aunque registró los menores valores en longitud de hoja (8.25 cm) y ancho de hoja (6.53 cm), indicando menor expansión foliar respecto a los demás grupos. Además, destacó por presentar el mayor rendimiento por planta (27.66 g), aunque las diferencias estadísticas para esta variable no fueron significativas ($p = 0.0641$). Este comportamiento sugiere que el rendimiento de los materiales agrupados en C4 estaría más relacionado con la cantidad de semillas producidas que con el tamaño individual de las mismas, ya que presentó un elevado número de semillas por vaina, aproximadamente 6 semillas, combinado con bajos valores en tamaño y peso de semilla. Adicionalmente, registró el menor

porcentaje de daño poscosecha (4.88 %), característica favorable para fines de almacenamiento, comercialización y conservación del material vegetal.

4.10 Caracteres cualitativos discriminantes

Valores discriminantes obtenidos para los descriptores cualitativos en la diferenciación morfológica y fenológica de grupos de accesiones de fréjol. Utilizando los coeficientes de contingencia de Pearson © y de Cramér (V), así como la prueba de chi-cuadrado (X^2). Se indican entre paréntesis los p-valores obtenidos en la prueba de chi-cuadrado para cada uno de los caracteres; las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre grupos de accesiones se muestran (Tabla 23).

Tabla 23

Descriptores cualitativos discriminantes en la diferenciación morfológica de la colección de fréjol

Descriptor	Chi^2	Gl	Valor Cramer	Coeficiente Pearson	P-valor
Hábito de crecimiento	256.07	9	0.56	0.75	<0.0001
Color de las alas de flor	196.39	18	0.49	0.70	<0.0001
Color del estandarte de la flor	180.70	18	0.47	0.69	<0.0001
Color de la quilla de flor	26.44	12	0.18	0.34	0.0093
Forma de la vaina	9.34	6	0.12	0.21	0.1552
Forma de la semilla	43.94	24	0.23	0.42	0.0078
Color primario de la semilla	191.27	81	0.49	0.70	<0.0001
Color secundario de la semilla	128	60	0.40	0.62	<0.0001

En general, se observaron importantes niveles de variabilidad para los caracteres cualitativos. Los valores de discriminación obtenidos para dichos caracteres en la diferenciación de accesiones Grupo 1, Grupo 2, Grupo3 y Grupo 4 se muestran donde se puede observar que 7 de los 8 caracteres morfológicos fueron significativamente ($p < 0,05$) discriminantes entre los conglomerados.

4.10 Identificación de morfotipos por grupos

4.10.1 Hábito de crecimiento

Los resultados evidencian diferencias claras en el hábito de crecimiento entre los grupos evaluados (Tabla 24). El Grupo 2 se caracterizó por presentar exclusivamente el hábito de crecimiento arbustivo determinado, lo que indica una alta uniformidad fenotípica para esta variable. En contraste, el Grupo 1 mostró de manera predominante el hábito de crecimiento indeterminado (88%).

Por su parte, los Grupos 3 y 4 presentaron una mayor variabilidad, registrándose la coexistencia de tres tipos de hábitos de crecimiento. En el Grupo 3 se identificaron materiales con predominancia de hábitos semivolubles (57%), y en porcentaje cercanos arbustivo indeterminado (29%) y voluble (23%), lo que sugiere una mayor diversidad morfológica dentro de este grupo. Finalmente, el Grupo 4 estuvo conformado por individuos con hábitos de crecimiento semivoluble (62%), voluble (32%) y arbustivo indeterminado (6%).

Tabla 24
Características del hábito de crecimiento del fréjol de cada grupo

Característica	Descripción	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Hábito de crecimiento	Arbustivo determinado	7%	100%		
	Arbustivo indeterminado	88%		29%	6%
	Semi voluble	5%		57%	62%
	Voluble			23%	32%

4.10.2 Color del órgano floral: alas, estandarte y quilla

El análisis del color de las alas de la flor evidenció diferencias marcadas entre los grupos evaluados (Tabla 25). En el Grupo 1 predominó el color púrpura (87%) y fue seguido por el color rosa (12%). Por su parte, el grupo 2 se caracterizó por la presencia de color blanco (53%) y rosa (43%), mientras que en el grupo 3 predominó el color rosa (49%). Finalmente, el Grupo 4 se caracterizó por presentar exclusivamente el color blanco en las alas de la flor, lo que sugiere una alta uniformidad fenotípica para esta característica.

Tabla 25
Características de los colores del órgano floral del fréjol por grupo de conglomerado

Característica	Descripción	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Color de las alas de la flor	Blanco	1%	53%	28%	100%
	Púrpura	87%	3%	23%	
	Rosa	12%	43%	49%	
Color del estandarte	Blanco	1%	50%	10%	68%
	Púrpura	88%	10%	30%	
	Rosa	11%	37%	44%	
	Amarillo verdoso		3%	16%	32%
Color de la quilla	Blanco				3%
	Verde	100%	100%	100%	97%

El color del estandarte de la flor: los Grupos 2 y 3 presentaron los cuatro colores identificados, aunque en diferentes proporciones. Los colores registrados en ambos grupos fueron: blanco, púrpura, rosa y amarillo verdoso, lo que refleja una elevada diversidad cromática.

En el Grupo 1 se observó la presencia de 3 colores en diferentes proporciones, ya que el 88% presentó color púrpura y los otros dos colores con frecuencias más bajas. Finalmente, el Grupo

4 presentó una marcada uniformidad cromática, ya que únicamente se identificaron dos colores, blanco (68%) y amarillo verdoso (32%).

El color de la quilla de la flor mostró un patrón común entre los grupos evaluados, ya que en los cuatro grupos se registró predominantemente el color verde. Sin embargo, el Grupo 4 presentó, adicionalmente, individuos con color blanco en la quilla de la flor, diferenciándose del patrón observado en los demás grupos.

4.10.3 Forma de la vaina y semillas

En la tabla 26 se presentan las características de la forma de vaina y la semillas. La forma de la vaina: los tres grupos presentaron todas las formas registradas, recta, semi curvado y curvado. Sin embargo, el grupo 1 ,2 y 3 tuvo predominancia en la forma recta, seguido del semicurvado y el curvado. Por su parte, el grupo 4 presentó predominancia de las vainas semicurvadas en un 59%, seguido por las rectas y las curvadas.

Tabla 26
Características de formas de vainas y semillas por grupo

Característica	Descripción	Grupo1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Forma de la vaina	Recto	43%	57%	42%	26%
	Semi curvado	37%	37%	40%	59%
	Curvado	21%	7%	18%	15%
Forma de la semilla	Redonda		3%	2%	
	Ovoide	15%	17%	16%	38%
	Elíptica	4%	3%	12%	6%
	Pequeña casi cuadrada	22%	7%	11%	21%
	Alargada ovoide	5%		7%	3%
	Alargada ovoide e inclinada en un extremo			2%	3%
	Alargada casi cuadrada		7%		3%
	Arriñonada, recto en lado del hilo	55%	63%	47%	26%
	Arriñonada, curva opuesta al hilo			4%	

En cuanto a la forma de la semilla, todos los grupos evaluados presentaron la totalidad de las formas descritas, lo que evidencia una amplia variabilidad morfológica para esta característica. Sin embargo, se observó un claro predominio de las formas arriñonadas, pequeñas, casi cuadradas y ovoideas en los distintos grupos. Las demás formas se presentaron en menor proporción, indicando una representación reducida dentro de la población evaluada. En

conjunto, estos resultados reflejan una diversidad morfológica compartida entre los grupos, con una tendencia común hacia un conjunto específico de formas predominantes.

4.10.4 Color de la semilla de fréjol

En la tabla 27 se describen los colores que se identificaron en la colección de fréjol. En esta se indica la frecuencia de cada uno en los diferentes grupos de conglomerados.

Tabla 27

Descripción de colores de las semillas presentes en cada grupo de conglomerado

Característica	Descripción	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Color de la principal de la semilla	Blanco	11%	7%	30%	24%
	Beige	1%		2%	6%
	Amarillo	2%	17%	5%	6%
	Naranja		13%	4%	6%
	Oliva		3%	7%	3%
	Marrón	15%	27%	9%	29%
	Gris	9%			
	Rojo	9%	27%	16%	24%
	Rosa		7%	2%	
	Púrpura	15%		21%	3%
	Negro	39%		5%	
Color secundario de la semilla	Blanco	6%	20%	14%	
	Amarillo				3%
	Marrón	1%	3%	7%	9%
	Rojo	1%	23%	14%	3%
	Rosa			12%	
	Beige			2%	6%
	Púrpura	10%	7%	18%	3%
	Negro			5%	
	Naranja				6%
	Ausente	82%	47%	28%	71%

El conglomerado 1 (G1) se caracterizó principalmente por presentar una alta frecuencia de semillas de color negro (39 %), constituyéndose en el grupo con mayor predominio de esta tonalidad. Además, mostró porcentajes importantes de semillas de color marrón y púrpura, 15 % cada uno, así como presencia moderada de colores blanco con 11%, gris y rojo con 9% cada uno. Este comportamiento evidencia una mayor diversidad de tonalidades oscuras en comparación con los demás conglomerados. En cuanto al color secundario de la semilla, predominó ampliamente la ausencia de color secundario (82 %), indicando que la mayoría de las semillas de este grupo presentaron una coloración uniforme. La presencia de color púrpura como tonalidad secundaria (10 %) fue superior a la observada en la mayoría de los demás colores.

Por otro lado, el conglomerado 2 (C2) mostró una distribución más equilibrada de colores principales, destacándose las semillas de color marrón y rojo, ambas con 27 %, seguidas por semillas amarillas (17 %) y naranjas (13 %). A diferencia de C1, este conglomerado no presentó semillas negras ni púrpuras como color principal, lo que indica una predominancia de tonalidades intermedias y claras. Respecto al color secundario, aunque la ausencia de color secundario continuó siendo predominante (47 %), este grupo presentó una mayor frecuencia de semillas con tonalidades secundarias rojas (23 %) y blancas (20 %), evidenciando una mayor diversidad de combinaciones de coloración.

El conglomerado 3 (C3) destacó por presentar la mayor variabilidad cromática entre todos los grupos evaluados. En este conglomerado predominó el color blanco como color principal de la semilla (30 %), seguido por púrpura (21 %) y rojo (16 %), además de presentar representación de casi todos los colores registrados en el estudio. Este comportamiento sugiere una elevada heterogeneidad genética y fenotípica dentro de este grupo. Asimismo, el color secundario mostró una importante diversidad, registrándose menores porcentajes de ausencia de color secundario (28 %) en comparación con los demás conglomerados. Destacaron especialmente las tonalidades secundarias púrpura (18 %), blanco y rojo (14 % cada uno), además de rosa (12%), lo que evidencia una marcada presencia de semillas bicolores o con patrones de pigmentación más complejos.

Finalmente, el conglomerado 4 (C4) presentó una predominancia de semillas de color marrón (29 %), seguido por blanco y rojo (24 % cada uno), mostrando una distribución relativamente equilibrada entre tonalidades claras y oscuras. Este conglomerado se diferenció de los demás por presentar porcentajes moderados de semillas beige, amarillas y naranjas, aunque con menor diversidad general en comparación con C3. En cuanto al color secundario, predominó nuevamente la ausencia de pigmentación secundaria (71 %), indicando una mayor uniformidad en la coloración de las semillas. Sin embargo, presentó presencia moderada de colores secundarios marrones, beige y naranja, aunque en porcentajes bajos.

4.11 Identificación de materiales promisorios

La selección de materiales promisorios se realizó con base en los siguientes criterios relacionados con la producción: días a la cosecha, longitud de vaina, ancho de vaina, número de semillas, longitud y ancho de semillas, peso de 100 semillas, rendimiento en gramos por planta y color de la semilla. Además, se consideraron los hábitos de crecimiento para

categorizar los resultados. En la tabla 28 se muestran los materiales promisorios de la colección de fréjol evaluada.

Tabla 28

Materiales promisorios para los conglomerados

Grupos	Accesión	DC	LV cm	AV cm	SV	LS cm	AS cm	P100s (g)	Rto/ planta (g)	% Daño postcosecha	CPS
C1	ECU-2839	103	11.69	0.99	6.20	1.22	0.66	21	30.40	0.66	Marrón
	ECU-3105	118	11.47	0.93	5.90	1.14	0.67	29	49.40	1.21	Blanco
	ECU-2896	110	12.47	0.91	5.60	1.22	0.65	20	33	1.95	Negro
C2	ECU-2837	103	11.65	1.16	4.40	1.22	0.79	49	24.36	0.75	Oliva
	ECU-3027	118	13.55	0.98	4.50	1.57	0.83	54	22.82	1.90	Rojo
C3	EC-3096	105	11.11	0.89	6.20	1.10	0.64	20	33.33	1.25	Rojo
	ECU-2828	110	12.38	0.97	5.10	1.20	0.80	45	25.25	1.32	Púrpura
	ECU-2818	110	11.28	0.97	4.70	1.24	0.78	43	23.47	1.70	Púrpura
	ECU-2770	118	13.41	0.99	5.90	1.42	0.77	49	66.86	2.99	Naranja
C4	ECU-3137	110	11.55	1.13	4.50	1.44	0.85	35	58	4.31	Beige
	ECU-3079	117	10.69	0.98	5.30	1.28	0.80	40	54	2.41	Beige
	ECU-3139	110	13.82	0.79	5.10	1.39	0.66	38	43	3.08	Beige

Las accesiones identificadas como materiales promisorios presentaron un intervalo de 103 y 118 días hasta la cosecha. Aunque presentan un ciclo de cosecha similar, estos se diferencian por los hábitos de crecimiento. El conglomerado 1 está conformado por accesiones de hábito de crecimiento arbustivo indeterminado; el conglomerado 2 por accesiones de hábito arbustivo determinado; el conglomerado 3 por arbustivo indeterminado y semivoluble; y el conglomerado 4 está conformado por hábito semivoluble.

En los materiales promisorios, el número de semillas por vaina, en general, osciló entre 4 y 6 semillas por vaina. En cuanto al porcentaje de daño poscosecha en los conglomerados 1, 2 , se basó en un porcentaje inferior al 2%. Por su parte, el conglomerado 3 y 4 presentó porcentajes ligeramente superiores a los observados en los demás grupos. A pesar de ello, las accesiones de este conglomerado sobresalieron por su mayor peso de semillas y rendimiento por planta, ya que estas características son de interés en programas de mejoramiento. Finalmente, los colores que forman parte de los materiales promisorios corresponden a: blanco, negro, rojo, púrpura, marrón , gris, beige y naranja.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El análisis de conglomerados realizado sobre la colección nacional de fréjol del INIAP, conformada por 208 accesiones, permitió identificar una estructura de variabilidad morfoagronómica claramente diferenciada en cuatro grupos de conglomerados, con una correlación cofenética de 0. 383. El conglomerado 1 estuvo integrado por 89 accesiones, el conglomerado 2 por 30, el conglomerado 3 por 57 y el conglomerado 4 por 34 accesiones.

En relación con las variables fenológicas y fisiológicas, el grupo 1 destacó por presentar el mayor porcentaje de germinación, con valores superiores al 83.54%. Asimismo, los días en las diferentes etapas fenológicas (germinación, floración, madurez fisiológica y cosecha) permitieron identificar al conglomerado 2 como el más precoz, mientras que el conglomerado 3 se caracterizó por un desarrollo más tardío. Respecto a los hábitos de crecimiento, el conglomerado 2 se caracterizó predominantemente por hábitos de crecimiento arbustivo determinado, el grupo 1 por accesiones arbustivas indeterminadas, mientras que los conglomerados 3 y 4 presentaron una mayor variabilidad en este carácter.

En las variables reproductivas y de rendimiento, los conglomerados 1 y 4 presentaron el mayor número de semillas por vaina, con promedios de cinco semillas, respectivamente. No obstante, el conglomerado 2 se destacó por presentar semillas de mayor tamaño, evidenciado por mayores valores de ancho y longitud de semilla de 0.79 cm y 1.47 cm, respectivamente, así como un mayor peso de 100 semillas 48 g.

En cuanto a la selección de materiales promisorios, en el conglomerado 1 destacaron principalmente las accesiones ECU-2839, ECU-3105 y ECU-2896, por presentar un adecuado equilibrio entre productividad y sanidad. En el conglomerado 2, ECU-2837 y ECU-3027 sobresalieron por sus bajos niveles de daño postcosecha. Por su parte, en el conglomerado 3, ECU-2770 se posicionó como la accesión más sobresaliente debido a su elevado rendimiento y bajo daño postcosecha, acompañada de materiales con buen desempeño agronómico como ECU-3096, ECU-2818 y ECU-2828. Finalmente, en el conglomerado 4, ECU-3137, ECU-3079 y ECU-3139 presentaron excelente rendimiento por planta y peso de 100 semillas.

5.2 Recomendaciones

Para validar el potencial agronómico de las accesiones promisorias identificadas en los diferentes conglomerados, se recomienda establecer ensayos en nuevos ciclos de producción y en distintas zonas agroecológicas. Esto permitirá evaluar la estabilidad de las características morfoagronómicas, la adaptabilidad de los materiales frente a variaciones climáticas y su respuesta bajo diferentes condiciones de manejo agronómico.

Se recomienda fortalecer programas de mejoramiento genético utilizando las accesiones de los conglomerados G2 y G4, debido a que presentaron características sobresalientes relacionadas con el tamaño y peso de las semillas, así como un elevado número de semillas por vaina y menor daño postcosecha. La combinación de estos atributos podría contribuir al desarrollo de materiales con mejor calidad de semilla, mayor eficiencia productiva y mejor comportamiento durante el almacenamiento.

Se considera fundamental promover estrategias de conservación in situ y ex situ de las accesiones evaluadas, con el fin de preservar la variabilidad genética identificada en el estudio. Estas acciones permitirán mantener recursos fitogenéticos de importancia agronómica, favorecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y disponer de materiales útiles para futuros programas de investigación y selección vegetal.

Finalmente, se recomienda promover la conservación y el uso sostenible de los recursos fitogenéticos, debido a que constituyen una importante fuente de variabilidad genética y representan recursos de alto valor para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola. La preservación de estos materiales permite mantener características agronómicas útiles frente a condiciones ambientales cambiantes, además de contribuir al fortalecimiento de programas de mejoramiento genético, diversificación productiva y sostenibilidad de los sistemas agrícolas locales.

REFERENCIAS

Albán, M. (2012). *Manual de cultivo de caupí*. Dirección Regional Agraria de Piura.

Alicandri, A., Paolacci, L., Coluccia, M., Marcomeni, P. y Ciaffi, M. (2024) Exploring molecular, morphological, and biochemical diversity of *Phaseolus vulgaris* cultivated in the Aniene valley (Lazio region, Italy). *Current plant Biology., 39*, 100374. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100374

Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2009). Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria.

Aybar-Peve, L., Cervantes-Zamudio, R., Camargo-Cobeñas, M., Chihuan-Palomino, E., Rojas-Meza, M., & Terán-Rojas, J. (2025). Fenología, crecimiento y rendimiento de nueve líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones agroclimáticas de Chincha, Perú. *Bioagro*, *37*(3), 277-288. http://hdl.handle.net/20.500.12955/2846

Beebe, S. E., Rao, I. M., Blair, M. W., & Acosta-Gallegos, J. A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in physiology, 4*, 35. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035

Bitocchi, E., Rau, D., Bellucci, E., Rodriguez, M., Murgia, M., Giogia,T., Santo, D., Nanni, L., Attene. & Papa, R. (2017). Beans (*Phaseolus* ssp.) as a model for understanding crop evolution. *Frontiers in plant science, 8,* 722. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00722

Casas, A. (2016). Conservación in situ y ex situ de recursos genéticos. En A. Casas, J. Torres-Guevara, & F. Parra (Eds.), *Domesticación en el continente americano* (Vol. 1, pp. 439-472). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). https://www.researchgate.net/publication/309783058

Centro Internacional de Agricultura Tropical. *(1984). Morfología de la planta de fríjol común. CIAT.*

Centro Internacional de Agricultura Tropical. *(1986). Etapas de desarrollo de la planta de fríjol común. CIAT.*

Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]. (1993). Descriptores varietales para cultivos: Maíz, Sorgo, Arroz y fréjol (Vol. 1). *Cali, Colombia.* http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/descriptores_varietales.pdf

Debouck, D. G., & Hidalgo, R. (1985). *Morfología de la planta de fríjol común (Phaseolus vulgaris* L.*)*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Debouck, D. (1989). *Recolección de germoplasma de Phaseolus en Ecuador*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). https://hdl.handle.net/10568/81420

Debouck, D. G. (1991). Systematics and morphology. En A. van Schoonhoven & O. Voysest (Eds.), *Common beans: Research for crop improvement* (pp. 55-118). Commonwealth Agricultural Bureaux International.

Delgado, A., Bibler, R. & Lavin, M. (2006). Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany, 31*(4), 779–791. https://doi.org/10.1600/036364406779695960

Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1985). Etapas de desarrollo en la planta de fríjol. En M. López Genes, F. O. Fernández, & A. van Schoonhoven (Eds.), *Fríjol: Investigación y producción* (pp. 61-78). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

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

Freytag, G. F., & Debouck, D. G. (2002). *Taxonomy, distribution, and ecology of the genus Phaseolus (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico and Central America*. Botanical Research Institute of Texas.

Gepts, P. (1998). Origin and evolution of common bean: Past events and recent trends. *HortScience, 33*(7), 1124–1130. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.7.1124

Goyes, D. P. (2014). *Evaluación de la aclimatación de 10 cultivares de fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris* L*), a campo abierto en Pisin, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Digital ESPOCH. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3301

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2010). Departamento Nacional de recursos fitogenéticos (DENAREF). Estación Experimental Santa Catalina, Quito, Ecuador. Obtenido de http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2660

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2022). Banco Nacional de Germoplasma: conservación y uso de recursos fitogenéticos. Banco de germoplasma del Ecuador – INIAP. https://bancogermoplasma.iniap.gob.ec/

Jacinto-Hernández, C., Garza-García, R., Garza-García, D. & Bernal-Lugo, I. (2014). Caracterización de germoplasma nativo de frijol con base en marcadores moleculares y atributos de calidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *5*(2), 253-264. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000200007&lng=es&tlng=es.

Jaramillo, S. y M. Baena. (2000). *Material de apoyo a la capacitación en conservación ex situ de recursos fitogenéticos*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia.

Kaplan, L., & Lynch, T. (1999). *Phaseolus* (Fabaceae) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Columbian agriculture. *Economic Botany*, *53*(3), 261-272. https://doi.org/10.1007/BF02866636

Mafla, G., & Debouck, D. G. (2007). Protocolos de conservación in vitro de germoplasma. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Ministerio de Agricultura y Ganadería S. (2024). Información productiva territorial. *Cifras Agroproductivas*. https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/tablero-dinamico/cifras-agroproductivas

Morales, A., Andueza, R., Márquez, C., Benavides, A., Tun, J., González, A., & López, C. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *6*(18), 463–475. https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, *22*(2), 415-427. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000200018

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Sistema de semillas de calidad declarada: Directrices para las normas técnicas y los procedimientos* (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal No. 185). FAO. https://www.fao.org/4/a0503s/a0503s02.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura* (Ed. rev.). FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Coping with climate change: The role of genetic resources for food and agriculture. FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3866e

Papa, R., Bellucci, E., Rossi, M., Leonardi, S., Rau, D., Gepts, P., Nanni, L., & Attene, G. (2007). Tagging the signatures of domestication in common bean (*Phaseolus vulgaris*) by means of pooled DNA samples. *Annals of botany*, *100*(5), 1039–1051. https://doi.org/10.1093/aob/mcm151

Peralta, E., & Vásquez, C. (1991). *Situación del germoplasma de leguminosas en el Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/28

Peralta, E., Vásquez, J., Lépiz, R. & Pinzón, J. (1994). Producción de semilla de fréjol voluble o trepador (Publicación Miscelánea No.63) Intituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIAP).

Peralta, E., Mazón, N., Minchala, L., & Guamán, M. (2013). *Fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.) y Arveja (Pisum sativum L.) en las provincias de Cañar, Azuay y Loja: cultivo, variedades y costos de producción* (Publicación Miscelánea No. 413). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Pimentel Gomes, F., & Boggio Ronceros, R. E. (1978). *Curso de estadística experimental / Frederico Pimantel Gomes ; traducido por E. Boggio Ronceros.* Editorial Hemisferio Sur,.

Rao, N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., Ghosh, K., Novell, D., & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma* (Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8). Bioversity International.

Reyes, S. & Cano, D. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Journal of High Andean Research, 24*(1), 53-64. https://doi.org/10.18271/ria.2022.328

Ríos, S. A., Quirós, I., & Rosas, J. C. (2014). Selección de líneas de frijol común por su rendimiento y adaptación climática. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *31*(2), 20-31. https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1936

Rodríguez, L., Fernández, L., & Torres, M. de los Ángeles. (2024). Caracterización morfológica de accesiones de Phaseolus vulgaris L. en el Banco de Germoplasma del INIFAT. *Cultivos Tropicales, 45*(2), e03. https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1771

Smith, M. & Rao, I. (2021). Common bean. In *Crop Physiology Case Histories for Major Crops,* (pp. 384–406). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00012-8

Santillán, T. (2021). *Evaluación del control del lorito verde (Empoasca fabae* L.*), con el uso de extractos de higuerilla (Ricinus communis* L.*) en el cultivo del fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris* L.*) en la granja experimental "La Pradera"* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11417

Secretaría Nacional de Planificación. (2025). Plan Nacional de Desarrollo 2025–2029: Ecuador no se detiene.

Shree, J. (2001). Broadening the Genetic Base of Common Bean Cultivars. *Crop Sci, 41*(1), 1659-1675. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.1659

Singh, S. P. (2001). Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop Science*, *41*(6), 1659–1675. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.1659

Tabango, E. (2021). *Caracterización de variedades nativas de fréjol (Phaseolus vulgaris* L.*), procedentes del Banco Nacional de Germoplasma del INIAP, en el cantón Cotacachi provincia de Imbabura* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11168

Ulloa, J., Ulloa, P., Ramírez, J., & Ulloa, B. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Fuente, 3*(8). 5-9

Vásquez, J., Vilca-Valqui, N. C., Malqui, R., Fernández, E., Duarez, E., & Ayala, R. (2024). Caracterización agromorfológica de accesiones de *Phaseolus* spp., en la región Amazonas, Perú. *Bioagro*, *36*(2), 129-142. https://doi.org/10.51372/bioagro362.1

Velázquez, R., Peña, C., López, C., Aguirre, J., Córdova, L., & Carballo, A. (2008). Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. *Agronomía Mesoamericana*, *19*(2), 167-177. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711424003

Viceministerio de Cultura y Patrimonio (2016). Frejol común. https://patrimonioalimentario.culturaypatrimonio.gob.ec/