

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y NIVELES DE PLOIDÍA DE UNA
COLECCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) GRUPO PHUREJA EN
LA REGIÓN DE CAJAMARCA**

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Presentado por el Bachiller:
ANDERSON JAVIER MIJAHUANCA GRANDA**

**Asesor:
Dr. JUAN FRANCISCO SEMINARIO CUNYA**

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: Anderson Javier Mijahuanca Granda

DNI: 75558883

Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía

2. Asesor: Dr. Juan Francisco Seminario Cunya

Facultad/Unidad UNC: Ciencias Agrarias

3. Grado académico o título profesional:

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia

profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación: "VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y NIVELES DE PLOIDÍA DE UNA COLECCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum L.*) GRUPO PHUREJA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA"

6. Fecha de evaluación: 05/02/2026

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 10%

9. Código Documento: oid: 3117:553218307

10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 10%

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O

DESAPROBADO

Fecha Emisión: 05/02/2026

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Dr. Juan Francisco Seminario Cunya

DNI: 26717651

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA”
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los dos días del mes de febrero del año dos mil veintiséis, se reunieron en el ambiente 2C - 202 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según Resolución de Consejo de Facultad N° 049-2026-FCA-UNC, de fecha 12 de enero del 2026, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: “VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y NIVELES DE PLOIDÍA DE UNA COLECCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) GRUPO PHUREJA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA”, realizada por el Bachiller ANDERSON JAVIER MIJAHUANCA GRANDA para optar el Título Profesional de INGENIERO AGRÓNOMO.

A las once horas y cero minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de INGENIERO AGRÓNOMO.

A las doce horas y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Wilfredo Poma Rojas
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, Confesor Mijahuanca y María Granda, por su constante apoyo, sacrificio y ejemplo de esfuerzo, que han sido la fuerza que me impulsó a alcanzar cada meta. Su dedicación y amor incondicional me enseñaron el verdadero valor del trabajo honesto y la perseverancia.

A mis hermanas, Leydi y Angélica, por su compañía, aliento y confianza en cada etapa de mi formación. Gracias por ser fuente de motivación, alegría y fortaleza en los momentos más desafiantes.

AGRADECIMIENTO

Expreso un agradecimiento especial al Dr. Juan Francisco Seminario Cunya, por su guía académica, paciencia y apoyo incondicional durante la ejecución de esta investigación. Su orientación científica y humana ha sido decisiva para el desarrollo y culminación de este trabajo.

De igual manera, reconozco el valioso respaldo del Ing. Jorge Luis Vásquez Orrillo y del M.Sc. Wilser Silva Cerdán, quienes aportaron con su conocimiento y acompañamiento constante al fortalecimiento de los resultados.

Esta investigación se realizó en el marco del proyecto “Potencial genético, productivo, bajo sistema de agricultura regenerativa y, de calidad de la papa del Grupo Phureja, de la Región Cajamarca. Etapa I”, financiado con recursos del Canon Minero y liderado por el Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias. A esta institución y a su equipo de trabajo, mi reconocimiento por haberme permitido participar activamente en la ejecución y financiamiento del proyecto.

Finalmente, manifiesto mi sincero agradecimiento a los agricultores conservacionistas de la Región Cajamarca, quienes brindaron el material genético de papa Phureja. Su colaboración desinteresada y su compromiso con la conservación de nuestra biodiversidad, dieron sentido y propósito a esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Formulación de problema	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Hipótesis	4
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.1.1 Caracterización morfológica	5
2.1.2 Niveles de Ploidía	7
2.1 Bases teóricas	7
2.1.1 Clasificación taxonómica de <i>Solanum tuberosum</i> L. con referencia al grupo Phureja	7
2.1.2 Origen de la papa cultivada	8
2.1.3 Distribución de la papa grupo Phureja	9
2.1.4 Zonas de producción de papa Phureja	10
2.1.5 Ecología	10
2.1.6 Características morfológicas	11
2.1.7 Importancia de la caracterización morfológica de recursos genéticos	11
2.1.8 Importancia de la ploidía	12
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Ubicación	13
3.2 Materiales	15
3.2.1 Material vegetal	15
3.2.2 Material de escritorio	17
3.2.3 Material de laboratorio	17
3.2.4 Material de campo	17

3.2.5	<i>Equipos</i>	18
3.2.6	<i>Insumos</i>	18
3.3	Metodología	19
3.3.1	<i>Diseño experimental</i>	19
3.3.2	<i>Conducción del experimento</i>	21
3.3.3	<i>Evaluaciones realizadas en campo</i>	23
3.3.4	<i>Caracterización morfológica</i>	23
3.3.5	<i>Análisis de datos morfológicos</i>	24
3.4.	Nivel de ploidía de las colectas mediante el conteo de cloroplastos en células guarda estomáticas	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
4.1	Variabilidad morfológica de 30 cultivares de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) grupo Phureja	31
4.1.1	Análisis de la Variabilidad Morfológica	33
4.1.2	Ploidía de las 30 accesiones, basada en el conteo de cloroplastos de células guarda	77
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones	81
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		82
ANEXOS		91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	<i>Condiciones meteorológicas mensuales registradas durante el periodo experimental (abril–julio, 2025) en la estación meteorológica UNC_SESA.</i>	15
2	<i>Registro de datos pasaporte de 30 cultivares de papa Phureja colectados en la Región de Cajamarca.</i>	16
3	<i>Lista de descriptores morfológicos evaluados y sus respectivos acrónimos.</i>	24
4	<i>Escala para determinar la ploidía de un genotipo.</i>	29
5	<i>Matriz básica de datos (MBD) para la caracterización de 30 cultivares de papa grupo Phureja en la Región de Cajamarca.</i>	32
6	<i>Índices de diversidad morfológica según Shannon-Weaver, diversidad máxima teórica y equidad para 33 variables morfológicas en cultivares de papa grupo Phureja.</i>	34
7	<i>Origen geográfico y códigos de las 30 accesiones de papa del grupo Phureja en la región de Cajamarca.</i>	95
8	<i>Promedios del conteo de cloroplastos en células guarda para el nivel de ploidía.</i>	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	<i>Ubicación del área experimental del Silvo Agropecuario de la UNC.</i>	14
2	<i>Croquis de distribución de las 30 entradas de papa grupo Phureja en el ensayo de la variabilidad morfológica y niveles de ploidía.</i>	20
3	<i>Representación de los 33 descriptores morfológicos en 30 cultivares de papa grupo Phureja mediante ACM.</i>	36
4	<i>Contribución porcentual de 33 descriptores morfológicos a la variabilidad total en 30 cultivares de papa grupo Phureja, obtenida mediante el ACM.</i>	38
5	<i>Distribución de 30 cultivares de papa grupo Phureja en las dos primeras dimensiones del ACM.</i>	40
6	<i>Distribución de 30 cultivares de papa grupo Phureja en el plano de las dos primeras dimensiones, con elipses de confianza al 95% por zona de colecta.</i>	42
7	<i>Determinación del número óptimo de grupos morfológicos (Clústeres).</i>	43
8	<i>Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 30 cultivares de papa grupo Phureja, basado en su caracterización morfológica.</i>	44
9	<i>Distribución de porcentajes en niveles de ploidía.</i>	78
10	<i>Cultivo de papa grupo Phureja de las 30 accesiones en floración.</i>	96
11	<i>Evaluación de flor con tabla de colores del CIP.</i>	96
12	<i>Muestra de foliolos de papa grupo Phureja dispuestos en placa Petri para evaluación de ploidía.</i>	98
13	<i>Observación microscópica de células guarda estomáticas.</i>	98
14	<i>Observación microscópica de cloroplastos en células guarda estomáticas.</i>	99

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Título	Página
1	<i>Guía para la caracterización morfológica de papa (Gómez, 2006).</i>	91
2	<i>Tabla de doble entrada para flor y tubérculo.</i>	94
3	<i>Fotografías de caracterización morfológica.</i>	96
4	<i>Fotografías de ploidía.</i>	98

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la variabilidad morfológica y los niveles de ploidía de una colección de 30 cultivares/entradas de papa (*Solanum tuberosum* L.) grupo Phureja, procedentes de seis provincias de la Región de Cajamarca. La investigación se desarrolló en el campo experimental del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Universidad Nacional de Cajamarca. La caracterización morfológica se realizó utilizando 33 descriptores del Centro Internacional de la Papa (CIP), agrupados en cuatro etapas fenológicas: floración, fructificación, tubérculo a la cosecha y brotamiento. Los datos fueron analizados mediante el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'), análisis de correspondencias múltiples (ACM) y agrupamiento jerárquico (Ward D²), la ploidía se determinó a través del conteo de cloroplastos en células guarda estomáticas. Los resultados evidenciaron amplia variabilidad morfológica entre los cultivares, siendo caracteres del tubérculo (forma general, color de piel y pulpa, profundidad de ojos) los más discriminantes. El índice (H') mostró valores entre 0.00 y 1.65 de diversidad. El ACM explicó 16.7 % de la variabilidad total. El análisis de agrupamiento permitió definir nueve grupos morfológicos con cierto grado de similitud entre ellos. Respecto al análisis citogenético, el conteo de cloroplastos mostró que el 63 % de los cultivares fueron diploides ($2n = 2x = 24$), 20 % triploides ($2n = 3x = 36$) y 17 % tetraploides ($2n = 4x = 48$), confirmando la predominancia diploide. En conjunto, los resultados evidencian amplia diversidad morfológica y citogenética, esta información constituye una base científica relevante para estrategias de conservación y aprovechamiento del germoplasma, así como para futuros programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: papa Phureja, variabilidad morfológica, ploidía, agrupamiento jerárquico

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the morphological variability and ploidy levels of a collection of 30 potato cultivars/entries (*Solanum tuberosum* L.) of the Phureja group, originating from six provinces in the Cajamarca Region. The research was conducted in the experimental field of the Andean Roots and Tubers Program at the National University of Cajamarca. Morphological characterization was performed using 33 descriptors from the International Potato Center (CIP), grouped into four phenological stages: flowering, fruiting, tuber at harvest, and sprouting. The data were analyzed using the Shannon-Weaver diversity index (H'), multiple correspondence analysis (MCA), and hierarchical clustering (Ward D²), ploidy was determined by counting chloroplasts in guard cells. The results showed wide morphological variability among cultivars, with tuber characteristics (general shape, skin and flesh color, eye depth) being the most discriminating. The index (H') showed diversity values between 0.00 and 1.65. ACM explained 16.7% of the total variability. Cluster analysis allowed nine morphological groups to be defined with a certain degree of similarity between them. Regarding cytogenetic analysis, chloroplast counting showed that 63% of cultivars were diploid ($2n = 2x = 24$), 20% triploid ($2n = 3x = 36$), and 17% tetraploid ($2n = 4x = 48$), confirming diploid predominance. Overall, the results show wide morphological and cytogenetic diversity. This information provides a relevant scientific basis for germplasm conservation and utilization strategies, as well as for future genetic improvement programs.

Keywords: Phureja potato, morphological variability, ploidy, hierarchical clustering

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el tercer cultivo alimentario más importante a nivel mundial después del arroz y el trigo (CIP, 2023; FAO, 2024a) con una producción global que alcanzó aproximadamente 375 millones de toneladas en 2022 (FAO, 2024b). Este tubérculo constituye un componente esencial en la dieta de millones de personas, especialmente en regiones altoandinas como el Perú, considerado su centro de origen y diversidad genética (CIP, 2018).

Dentro de este complejo de papa, el grupo Phureja corresponde a un conjunto de genotipos principalmente diploides que se caracterizan por un ciclo vegetativo corto, alta calidad culinaria, notable variabilidad morfológica y una buena adaptabilidad a condiciones agroecológicas de altura intermedia y elevada (Rojas-Mercado y Seminario, 2014; Lázaro et al., 2021). Esta diversidad constituye un recurso valioso para programas de mejoramiento genético orientados a enfrentar desafíos como el cambio climático, la aparición de plagas y enfermedades emergentes, y las nuevas demandas del mercado (Arias et al., 2023). Por ejemplo, se ha identificado resistencia natural al virus Y de la papa (PVY) en poblaciones diploides del grupo Phureja, a través de la detección de un gen dominante (Ry(o)phu), mapeado en el cromosoma 9, lo que abre nuevas perspectivas para su incorporación en cultivares comerciales (Torrance et al., 2020).

Cajamarca es una de las regiones ricas en diversidad de papa nativa en el norte del Perú, tanto en número de variedades como en adaptaciones agroecológicas. Investigaciones realizadas por (Seminario y Zarpán, 2011) han documentado la existencia de una gran cantidad de accesiones locales pertenecientes al grupo Phureja, que presentan una notoria variabilidad en forma, color, textura de piel y características de brotes.

En este contexto, la caracterización morfológica y el análisis de niveles de ploidía constituyen herramientas fundamentales para la evaluación y conservación de los recursos genéticos de papa. La caracterización permite identificar y clasificar adecuadamente los genotipos (Tapia - Vásquez, 2017) mientras que el análisis citogenético ofrece información sobre su potencial de uso en cruzamientos dando lugar a niveles intermedios de ploidía (Pulgarín et al., 2012). Sin embargo, los estudios aplicados al grupo Phureja en Cajamarca siguen siendo limitados, lo que subraya la necesidad de investigaciones que contribuyan a documentar y preservar esta diversidad.

En tal sentido, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la variabilidad morfológica y los niveles de ploidía de una colección de papa (*Solanum tuberosum* L., grupo Phureja) procedente de diversas localidades del departamento de Cajamarca, con el fin de aportar información útil para su conservación, caracterización y aprovechamiento en futuros programas de mejoramiento genético.

1.1 Descripción del problema

La papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja, conocida localmente como “chaucha”, constituye un importante recurso de diversidad genética en la región andina, valorado por su precocidad, sabor, alta calidad culinaria y bajo costo de producción (Seminario et al., 2019). En la región de Cajamarca, este grupo presenta una amplia variabilidad morfológica observable en tubérculos, tallos, hojas y flores; sin embargo, dicha variabilidad no ha sido plenamente caracterizada ni desde el punto de vista morfológico ni citogenético, lo que limita su aprovechamiento en programas de conservación y mejoramiento genético.

Estudios realizados en Colombia y en la Región de Cajamarca han reportado una amplia variabilidad morfológica en colecciones del grupo Phureja. Por ejemplo, Latorre-Vásquez et al. (2021) documentó una alta diversidad para caracteres como forma y color de tubérculo, número de ojos y pigmentación de brotes. En el contexto local, Tapia - Vásquez (2017)

identificó entre 35 y 42 morfotipos distintos utilizando los descriptores del Centro Internacional de la Papa (CIP), aunque sin evaluar el nivel de ploidía, dejando un vacío importante para la comprensión integral de la diversidad. Desde el enfoque citogenético, Pulgarín et al. (2012) demostró que el grupo *Phureja* puede presentar distintas condiciones cromosómicas, como diploidía ($2n = 2x = 24$), triploidía y casos de aneuploidía, lo cual evidencia una complejidad genética que no siempre se manifiesta morfológicamente.

A pesar de estas evidencias, en Cajamarca la variabilidad genética del grupo *Phureja* aún no ha sido completamente caracterizada. La falta de información detallada sobre la variabilidad morfológica y los niveles de ploidía limita su aprovechamiento en programas de mejoramiento genético y conservación. Por ello, es necesario realizar un estudio exhaustivo que permita determinar estos aspectos, identificar morfotipos específicos y evaluar su potencial uso en la mejora y preservación del cultivo.

Desde agosto del 2023 hasta febrero de 2024, a través del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Universidad Nacional de Cajamarca, se realizó nuevas colectas de papa del grupo *Phureja*. Parte de este material corresponde a duplicados de accesiones que existían antes de la pandemia y que se perdieron en ese periodo; el resto son genotipos inéditos que representan morfotipos no documentados previamente. En conjunto constituyen una nueva colección que es necesario caracterizar y determinar su nivel de ploidía.

1.2 Formulación de problema

¿Cuál es la variabilidad morfológica en términos de morfotipos y los niveles de ploidía, de una colección de papa del Grupo *Phureja* de la Región Cajamarca?

1.3 Justificación

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, y dentro de este grupo, la papa del Grupo *Phureja* se destaca por sus características únicas y su adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas. La región de Cajamarca, en

Perú, es conocida por su diversidad genética en cultivos de papa, lo que representa un recurso valioso para la investigación y el mejoramiento genético (Seminario et al., 2019; Tapia - Vásquez, 2017).

La diversidad genética de las especies se manifiesta a través de diferencias morfológicas y variaciones en los niveles de ploidía, las cuales influyen directamente en su capacidad de adaptación. En el caso de la colección de papa del grupo Phureja permite identificar morfotipos específicos y niveles de ploidía que pueden ser utilizados en programas de mejoramiento genético, contribuyendo a la sostenibilidad y productividad del cultivo (Latorre - Vásquez et al., 2021). Además, la información es esencial para la conservación de la biodiversidad y servirá para el desarrollo de investigaciones futuras.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la variabilidad morfológica en términos de morfotipos y los niveles de ploidía, de una colección de papa del grupo Phureja de la Región Cajamarca.

1.4.2 Objetivos específicos

Caracterizar la variabilidad morfológica en términos de morfotipos de una colección de papa del grupo Phureja de la Región Cajamarca.

Identificar los niveles de ploidía de las entradas de una colección de papa del grupo Phureja de la Región Cajamarca.

1.5 Hipótesis

La variabilidad morfológica en términos de morfotipos de una colección de papa del grupo Phureja de la Región Cajamarca es escasa y las entradas en su mayoría son diploides.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Caracterización morfológica

Seminario y Zarpán (2011) evaluaron el estado de conservación *in situ (on farm)* y *ex situ* de cultivares de papa grupo Phureja, utilizando 33 descriptores morfológicos del Centro Internacional de la Papa (CIP). El análisis estadístico, realizado con el programa NTSYS 2.1, incluyó agrupamiento (UPGMA) y análisis de componentes principales (ACP), identificándose duplicados (5 % a distancia 0.0 y 48 % a distancia 0.58). El ACP explicó más del 70 % de la variación en los siete primeros componentes, destacando el C1 con caracteres de hoja, flor, baya, color y forma del tubérculo, color predominante y color secundario de pulpa, distribución del color secundario de la pulpa que explica el 24,6%. Se determinó que en los últimos 20 años se ha perdido un 21 % de cultivares, y que el CIP conserva el 39,5 % de los cultivares del área, mientras que las universidades y agricultores conservacionistas mantienen representaciones mínimas.

Reddy et al. (2018) evaluaron cultivares comerciales de papa mediante descriptores morfológicos, considerando longitud de planta, número de brotes, hojas y tubérculos, peso y circunferencia de tubérculo, así como color de piel y pulpa. Los resultados mostraron que el cultivar ‘Sree Bhadra’ presentó mayor longitud de planta (143 cm), número de brotes (13,5), hojas (134) y tubérculos (6,5), mientras que ‘POL 19-9-3’ tuvo mayor peso de tubérculo (542,25 g) y rendimiento (3,02 kg/planta). Se registró amplia variación en colores de piel y pulpa, y el rendimiento correlacionó positivamente con el peso y la circunferencia de tubérculo, número de hojas, longitud de planta y número de tubérculos.

Seminario et al. (2019) desarrollaron un estudio en seis provincias de la Región Cajamarca, abarcando un rango altitudinal entre 2 536 a 3 800 m s.n.m., con el objetivo de evaluar la diversidad morfológica de papas Phurejas. Para ello, emplearon descriptores estandarizados propuestos por el Centro Internacional de la Papa (CIP) (Gómez, 2006), elaborándose una MBD para análisis multivariado con NTSYS mediante agrupamiento UPGMA y ACP. Los resultados mostraron 33 grupos a nivel intermedio de similitud (0,63) y 37 grupos a máxima similitud (0,00), lo que evidenció 23 % y 14% de duplicados. El ACP explicó el 70,3 % de la variación total en los siete primeros componentes, caracteres de hoja, flor y tubérculo los más discriminantes. Además, se observó alta concordancia entre la clasificación de los agricultores y los agrupamientos obtenidos. Se identificó tres especies: *S. phureja* (74 %), *S. goniocalyx* (5 %) y *S. tuberosum* subsp. *andigenum* (21 %).

Latorre-Vásquez et al. (2021) realizaron la caracterización morfológica de 60 genotipos de *Solanum tuberosum* grupo *Phureja* provenientes del departamento de Nariño, Colombia, utilizando variables cualitativas y análisis de correspondencias múltiples (ACM). El estudio evidenció una notable diversidad morfológica, destacando genotipos con color primario de piel amarillo (45%) y morado (43,33%) y ausentes de color secundario (70%), carne blanca/crema o amarilla (30%), y presencia de color secundario rojo/violeta (40%) distribuido de forma dispersa (38.33%). Asimismo, identificaron tres clústeres de agrupación, y establecieron que características como la forma general del tubérculo, el color primario y secundario de piel y carne, y la profundidad de los ojos son determinantes en la diferenciación de los genotipos.

Ignacio-Cárdenas et al. (2022) caracterizó morfológicamente 21 cultivares de papas nativas, utilizando 31 descriptores basados del CIP. Mediante análisis de conglomerados y análisis discriminante lineal, identificaron tres grupos fenotípicos bien definidos, con una tasa de clasificación perfecta (0% de error) y una correlación cofenética de 0.616. Los rasgos más

discriminantes fueron el grado de floración, el color predominante y secundario de la piel del tubérculo, la forma general del tubérculo y la distribución del color secundario del brote.

2.1.2 Niveles de Ploidía

Sánchez (2017) determinó los niveles de ploidía en accesiones de papas nativas mediante el conteo de cloroplastos en células guarda de los estomas como un método práctico para diferenciar entre genotipos diploides y tetraploides. Las accesiones 061979, 062517 y 061991 presentaron entre 7 y 8 cloroplastos por célula, lo cual se asocia con un nivel diploide. En contraste, las demás accesiones mostraron entre 12 y 14 cloroplastos por célula, lo que es característico de materiales tetraploides. Aunque este método no permite determinar con precisión absoluta el nivel de ploidía, su aplicación resulta útil como técnica de diagnóstico rápido para discriminar grandes volúmenes de material vegetal, especialmente cuando se busca identificar genotipos diploides dentro de una colección diversa.

Pizarro (2019) un análisis realizado en 150 cultivares de papa nativa reveló que la mayoría (88.7%, equivalente a 133 cultivares) correspondía a diploides ($2n = 2x = 24$), mientras que un 10.0% (15 cultivares) fueron identificados como triploides ($2n = 3x = 36$) y el 1.3% restante (2 cultivares) como tetraploides ($2n = 4x = 48$). En cuanto al número de cloroplastos observados en las células estomáticas, se registró un promedio de 8 ± 0.97 en los diploides, 11 ± 1.37 en los triploides y 13 ± 0.12 en los tetraploides. Esta tendencia indica una correlación positiva entre el nivel de ploidía y la cantidad de cloroplastos, lo que permite considerar al conteo de cloroplastos como una herramienta útil para la estimación del nivel de ploidía.

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Clasificación taxonómica de *Solanum tuberosum* L. con referencia al grupo Phureja

Bajo el enfoque del Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (ICNCP), se encontró respaldo fenético para algunas especies, aunque la mayoría de las diferencias morfológicas se comparten entre varios taxones, debido a su origen híbrido y

evolución continua mediante cruzamientos y otros factores, sugiere considerar todas las papas tradicionales como una sola especie (*Solanum tuberosum*), organizada en nueve grupos de cultivares: *Ajanhuiri*, *Andigenum*, *Chaucha*, *Chilotanum*, *Curtilobum*, *Juzepczukii*, *Phureja*, *Stenotomum* y un noveno grupo aún sin nombre definido, que corresponde a las papas mejoradas modernas (Huamán y Spooner, 2002; Huamán, 2008).

Posteriormente, Spooner y Hetterscheid (2006) amplían esta clasificación al incorporar, además de los rasgos morfológicos, criterios fenológicos y de adaptación como fotoperíodo, dormancia, ploidía y ciclo de cultivo, aplicables a todos los grupos de cultivares. Dentro de esta clasificación, el grupo Phureja se distingue particularmente por su condición diploide, ciclo de cultivo corto, tubérculos brotados a la cosecha, características que lo convierten en una fuente valiosa de germoplasma para programas de mejoramiento genético.

2.1.2 Origen de la papa cultivada

La papa cultivada tiene su origen en los Andes centrales de Sudamérica, específicamente en la región del Lago Titicaca, en la frontera entre Perú y Bolivia, considerada el principal centro de domesticación. Estudios moleculares basados en marcadores AFLP demostraron que la papa fue domesticada una sola vez a partir de especies diploides del complejo *Solanum brevicaule*, dando lugar a *S. stenotomum*, la forma diploide cultivada más antigua (Spooner et al., 2005). Posteriormente, a través de procesos de hibridación natural con especies silvestres y eventos de poliploidización, surgieron formas triploides y tetraploides que derivaron en los grupos de cultivares actualmente reconocidos.

Rodríguez (2010) la papa cultivada se originó a partir de hibridaciones sucesivas entre especies diploides pertenecientes al complejo *Solanum brevicaule*, seguidas por eventos de duplicación cromosómica que condujeron al surgimiento de formas tetraploides. Entre las especies silvestres involucradas en este proceso se encuentran *S. bukasovii*, *S. canasense* y *S. multidissectum*, a partir de las cuales se habría seleccionado *S. stenotomum*, considerada la

forma diploide cultivada más antigua. Esta especie ancestral dio paso a las papas del tipo Andigena, que posteriormente evolucionaron mediante mecanismos de poliploidización sexual e hibridación tanto entre variedades como con especies silvestres, facilitando así su diversificación y amplia distribución geográfica.

De acuerdo con Srivastava et al. (2016) el proceso de domesticación se la papa se habría iniciado en Sudamérica, particularmente en la región altoandina asociada al entorno del lago Titicaca. Esta zona, compartida actualmente por Perú y Bolivia; donde aún se encuentran especies silvestres que presentan una notable diversidad en cuanto a forma, tamaño, color, sabor y otras características del tubérculo, los principales centros de diversidad son América Central y la zona andina que abarca el noroeste argentino, Perú y el sur de Bolivia. Estas especies prosperan desde zonas semidesérticas en el norte de Argentina, el sur de Bolivia y México, hasta selvas subtropicales con altas precipitaciones y gran capacidad de adaptación altitudinal, creciendo desde el nivel del mar hasta altitudes cercanas a los 5000 m.

2.1.3 *Distribución de la papa grupo Phureja*

Ghislain et al. (2006) el grupo Phureja se cultiva tradicionalmente en los valles interandinos que se extienden desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia. Sus principales centros de diversidad se encuentran en el sur de Colombia, especialmente en el departamento de Nariño, donde se desarrolla entre los 1 500 y 3 000 m s.n.m., y en la cuenca del Lago Titicaca, en la frontera entre Perú y Bolivia, donde se cultiva en altitudes comprendidas entre 2 500 y 3 800 m s.n.m. En general, las papas del grupo Phureja se adaptan a un rango altitudinal de 1 500 a 3 800 m s.n.m., predominando en la región quechua (2 300 - 3 500 m s.n.m.), lo que refleja su importancia como recurso genético adaptado a condiciones interandinas.

2.1.4 Zonas de producción de papa Phureja

El cultivo de papa del grupo Phureja se concentra principalmente en los países andinos, destacando Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. En Colombia, la producción se localiza en el altiplano cundiboyacense (2400 - 3000 m s.n.m.) y en el sur del país, especialmente en el departamento de Nariño, donde constituye un recurso fundamental para la seguridad alimentaria y los ingresos de pequeños productores (Ligarreto y Suárez, 2003). En Ecuador, se siembra en los valles templados de la sierra, 2500 a 2800 m s.n.m. (Cuesta et al., 2002). En Perú, las principales zonas productoras corresponden a la sierra norte (Cajamarca), la sierra central (Huánuco y Junín) y algunas áreas del sur andino, con cultivos establecidos por encima de los 2500 m s.n.m., donde se destinan mayormente al autoconsumo familiar y mercados locales (MINAM, 2017). En Bolivia, el grupo Phureja se cultiva principalmente en el norte del departamento de La Paz, en provincias como Larecaja, Camacho, Muñecas y Bautista Saavedra. Estas zonas andinas se localizan entre los 3200 y 4000 m s.n.m., caracterizándose por contar con suelos de alta fertilidad y riqueza en materia orgánica (Coca-Morante et al., 2013).

2.1.5 Ecología

Se adapta principalmente a zonas de clima templado a frío, en altitudes comprendidas entre 2200 y 3500 m s.n.m., con temperaturas medias anuales de 10 a 18°C y precipitaciones entre 800 a 1200 mm anuales. Se caracteriza por su ciclo vegetativo corto (90 a 120 días), falta de dormancia y adaptación a fotoperíodo corto, lo cual limita su cultivo a regiones ecuatoriales con días de luz inferiores a 12 horas (Spooner et al., 2014). El cultivo prospera en suelos con profundidad media, textura franca, con buena aireación y drenaje, ligeramente ácidos con pH entre 5.2 y 5.9 (Pareja et al., 2022).

2.1.6 Características morfológicas

Según Seminario et al. (2019) en Los *Solanum* del grupo Phureja de Cajamarca: avances, podemos describir a la papa phureja de modo general como sigue:

Planta: son del tipo decumbente, semierecta, tallo (verde, verde con pocas o muchas manchas, pigmentado), alas onduladas, rectas, erectas y ausencia de alas.

Hoja: presentan variabilidad en el número de foliolos laterales (de tres a seis pares), acompañados por diferentes cantidades de interhojuelas entre foliolos y con presencia o ausencia de interhojuelas sobre el peciolulo.

Tubérculo: son de formas variadas, destacándose las formas redonda, ovalada, elíptica, oblonga, obovada y comprimida a redonda, con ojos de profundidad superficial, media y profunda.

Fruto: predominantemente color verde, con variaciones en la presencia de pigmentaciones y formas. Cultivares con puntos blancos (abundantes o escasos), áreas y bandas pigmentadas, así como bandas blancas. En cuanto a la forma, se registraron principalmente formas globosas (algunas con muerón terminal), ovoides (algunas también con muerón terminal), cónicas y periforme.

2.1.7 Importancia de la caracterización morfológica de recursos genéticos

La caracterización morfológica constituye la primera etapa en el estudio de los recursos genéticos, ya que permite describir y diferenciar las accesiones en función de sus rasgos fenotípicos. En el caso de las papas nativas, este procedimiento es fundamental para documentar la variabilidad observable y facilitan la identificación de posibles duplicados en colecciones y el establecimiento de patrones de diversidad y variabilidad dentro del germoplasma disponible (Gómez, 2006).

La importancia de este proceso radica en que el grupo Phureja es fundamental porque permite evidenciar la amplia diversidad de formas y colores, información que resulta clave para definir potenciales usos culinarios e industriales, orientar estrategias de mejoramiento genético y promover la conservación de recursos genéticos (Latorre - Vásquez et al., 2021).

Asimismo, la caracterización morfológica no solo tiene un valor descriptivo o taxonómico, sino que representa una herramienta práctica en los programas de mejoramiento genético. Al conocer la diversidad fenotípica, es posible seleccionar progenitores con atributos de interés agronómico, como precocidad, rendimiento o resistencia a estreses bióticos, y también con características de calidad culinaria, que son altamente valoradas (Tapia - Vásquez, 2017).

Además, la caracterización morfológica permite identificar cultivares en riesgo de pérdida y establecer estrategias de conservación adecuadas; Seminario et al. (2025) documentaron que en Perú se ha observado una disminución de cultivares del grupo Phureja, impulsada por factores como el reemplazo por variedades comerciales, la priorización de actividades como la ganadería, la baja disponibilidad de semilla de calidad, la migración laboral y la expansión de proyectos mineros que afectan áreas agrícolas.

2.1.8 Importancia de la ploidía

La ploidía constituye un aspecto fundamental en el estudio del grupo *Solanum tuberosum* L. Phureja, ya que determina su condición genética, su variabilidad y su aprovechamiento en programas de conservación y mejoramiento. Este grupo se caracteriza principalmente por ser diploide, condición que lo diferencia de otros grupos de papa cultivada, usualmente tetraploides. Además, constituye un importante stock genético debido a sus excelentes propiedades culinarias y otras características para el desarrollo de variedades modernas (Ghislain et al., 2006).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

La investigación se realizó en el campo experimental del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos (PRTAs), situado en el área del Servicio Silvo Agropecuario de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. Esta área se localiza en el distrito, provincia y región de Cajamarca, a una altitud de 2673 m s.n.m. con coordenadas geográficas de 776933.78 m E y 9207025.87 m S, con una temperatura media anual de 14.7 °C, precipitación pluvial anual de 651.9 mm y una humedad relativa promedio de 64.9%

Figura 1

Ubicación del área experimental del Silvo Agropecuario de la UNC.

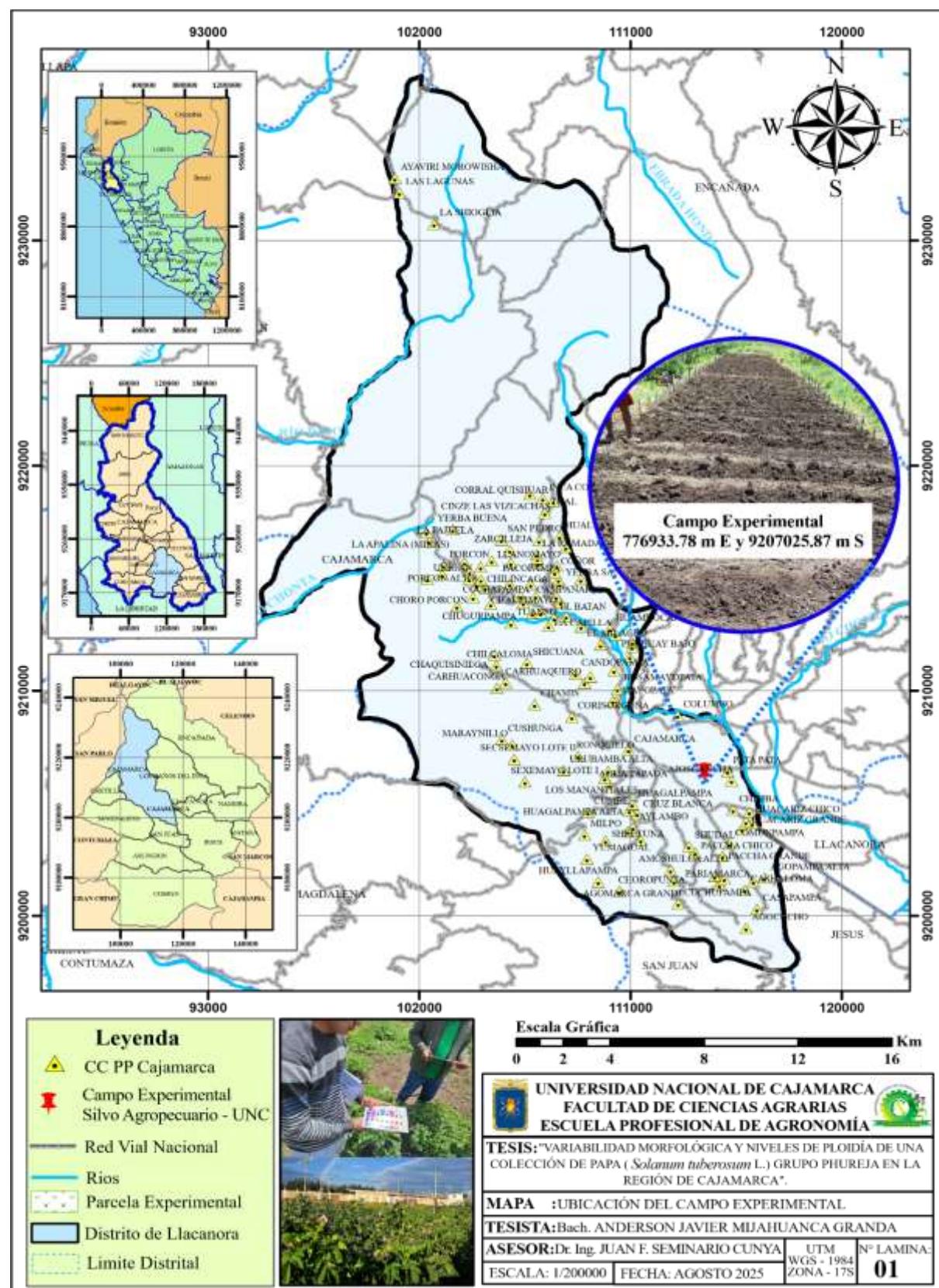


Tabla 1

Condiciones meteorológicas mensuales registradas durante el periodo experimental (abril–julio, 2025) en la estación meteorológica UNC_SESA.

Mes	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Radiación solar media (W/m ²)	Energía solar diaria (MJ/m ² /día)	Velocidad del viento (km/h)
Abril	18.1	81.23	137.7	176.38	7.59	1.96
Mayo	15.25	74.48	7.9	173.15	7.45	2.34
Junio	14.6	71.81	27.8	160.1	6.89	2.14
Julio	13.8	59.44	0.0	183.07	7.87	2.84

3.2 Materiales

3.2.1 Material vegetal

El estudio utilizó 30 cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) grupo Phureja, colectados en diferentes localidades de la Región Cajamarca. El material proviene de seis provincias: Hualgayoc (43.3%), Cajamarca (23.3%), Cutervo (20.0%), Chota (6.7%), Cajabamba (3.3%) y San Miguel (3.3%). Cada entrada fue registrada con un código de colecta y un acrónimo correspondiente, acompañado de información de altitud (2335 a 3755 m s.n.m.) y coordenadas geográficas en sistema UTM, lo que garantiza su trazabilidad. La (Tabla 2) presenta el detalle de procedencia de cada cultivar.

Tabla 2

Registro de datos pasaporte de 30 cultivares de papa Phureja colectados en la Región de Cajamarca.

Nº	Código	Cultivar	Acrónimo	Altitud m s.n.m.	Latitud (N)	Longitud (E)	Localidad	Distrito	Provincia
1	CAJ202501	Ch. Amarilla	AMAR	3287	9257847	780995	Quilinsacucho	Bambamarca	Hualgayoc
2	CAJ202502	Ch. Amarilla antigua	AMAN	3393	9256359	780745	La Colpa	Bambamarca	Hualgayoc
3	CAJ202503	Ch. Amarilla común	AMCO	2693	9193870	783328	Hualanga	Jesús	Cajamarca
4	CAJ202504	Ch. Amarilla grande	AMGR	3287	9257847	780995	Quilinsacucho	Bambamarca	Hualgayoc
5	CAJ202505	Ch. Amarilla larga	AMLA	3132	9279418	765092	La Quinua	Chota	Chota
6	CAJ202506	Ch. Amarilla redonda	AMRE	3290	9195688	785763	El Granero	Jesús	Cajamarca
7	CAJ202507	Ch. Blanca	BLAN	2335	9303824	757878	Cuñanque	Socota	Cutervo
8	CAJ202508	Ch. Bola de cuy	BOCU	3603	9187530	782649	San José	La Encañada	Cajamarca
9	CAJ202509	Ch. Chachapoyana-3	CHA3	3287	9257847	780995	Quilinsacucho	Bambamarca	Hualgayoc
10	CAJ202510	Ch. Chilopa	CHIL	2345	9304070	757805	Huarrago	Socota	Cutervo
11	CAJ202511	Ch. Clavelina	CLAV	2345	9304070	757805	Huarrago	Socota	Cutervo
12	CAJ202512	Ch. Ecuatoriana	ECUA	2720	9209340	758480	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
13	CAJ202513	Ch. Huamantanga	HUAM	2650	9157380	784180	Cajabamba	Cajabamba	Cajabamba
14	CAJ202514	Ch. Huevo	HUEV	3287	9257847	780995	Quilinsacucho	Bambamarca	Hualgayoc
15	CAJ202515	Ch. Larga	LARG	3317	9259417	781649	Oxapampa	Bambamarca	Hualgayoc
16	CAJ202516	Ch. Limeña blanca	LIBL	3755	9200930	782292	Huanico	Namora	Cajamarca
17	CAJ202517	Ch. Machala-1	MAH1	2958	9267593	777023	La Locpa	Bambamarca	Hualgayoc
18	CAJ202518	Ch. Machala-2	MAH2	2952	9267688	777441	Oxapampa	Bambamarca	Hualgayoc
19	CAJ202519	Ch. Montañera	MONT	2952	9267688	777441	Oxapampa	Bambamarca	Hualgayoc
20	CAJ202520	Ch. Negra-1	NEG1	2901	9260220	785022	Chalapampa	Bambamarca	Hualgayoc
21	CAJ202521	Ch. Negra-2	NEG2	2335	9303824	757878	Cuñanque	Socota	Cutervo
22	CAJ202522	Ch. Pabla	PABL	3290	9243958	746776	Los Ángeles	Catilluc	San Miguel
23	CAJ202523	Ch. Pañuelita-1	PAÑ1	2662	9263635	787191	La Libertad de la Palma	Socota	Cutervo
24	CAJ202524	Ch. Pañuelita-2	PAÑ2	2950	9267591	777442		La Locpa	Bambamarca
25	CAJ202525	Ch. Pimpinela	PIMP	3603	9187530	782649	San José	La Encañada	Cajamarca
26	CAJ202526	Ch. Poroporo	PORO	2950	9267593	777448	La Locpa	Bambamarca	Hualgayoc
27	CAJ202527	Ch. Runga	RUNG	3393	9256359	780745	La Colpa	Bambamarca	Hualgayoc
28	CAJ202528	Ch. S/N	SNXX	2370	9303965	757872	Pucquio	Socota	Cutervo
29	CAJ202529	Ch. Shoga roja	SHOR	3132	9279418	765092	La Quinua	Chota	Chota
30	CAJ202530	Ch. Tulpuna	TULP	2803	9189100	784364	Huacraruco	San Juan	Cajamarca

Nota: Ch (chaucha)

3.2.2 Material de escritorio

- Papel bond A4
- Lapicero
- Lápiz
- Cartulina
- Cúter
- Perforador

3.2.3 Material de laboratorio

- Alcohol
- Papel toalla
- Bisturí
- Pinza de punta fina
- Laminas portaobjeto
- Laminas cubreobjeto
- Placas Petri
- Agua destilada
- Yodo-yoduro de potasio

3.2.4 Material de campo

- Lampa
- Pico
- Machete
- Hoz
- Wincha
- Manguera
- Rafia

- Franelas de color (rojo, negro y azul)
- Libreta de campo
- Tarjetas de identificación
- Bolsas de papel Kraft
- Tabla de colores para papa, del CIP
- Guía para la caracterización morfológica del cultivo de papa

3.2.5 Equipos

- Balanza analítica
- Cámara fotográfica (celular)
- Laptop
- Impresora
- Microscopio
- Mochila pulverizadora

3.2.6 Insumos

- Guano de islas
- Tifon 4E
- Matrix 200 SC

3.3 Metodología

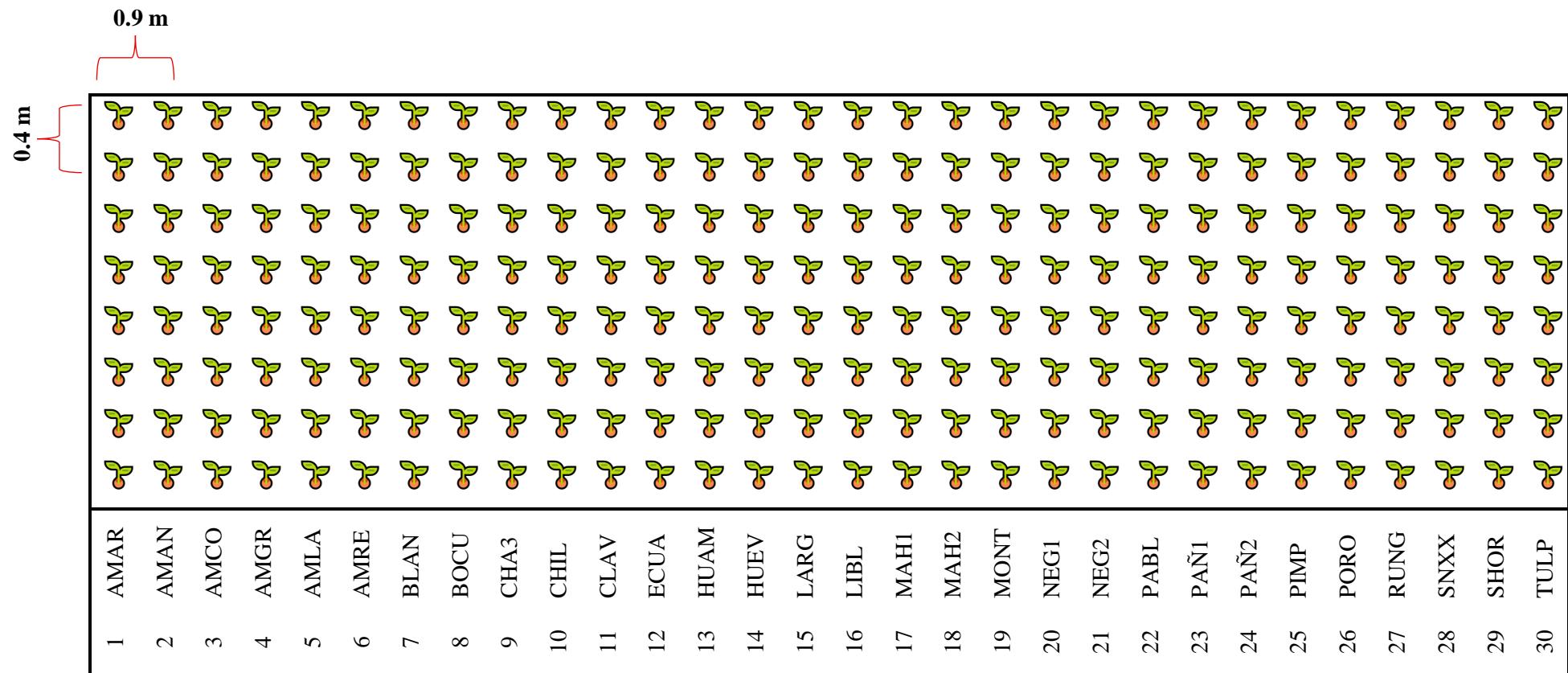
3.3.1 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un arreglo sistemático, en donde cada entrada estuvo ubicada en una hilera, cada hilera 8 plantas, orientado a la caracterización morfológica de 30 cultivares de papa grupo *Phureja*. La siembra se realizó en una parcela de 112 m², con dimensiones de 4 m de ancho por 28 m de largo, ubicada en condiciones de campo. Cada cultivar fue sembrado, con una distancia de 0.9 m entre hileras y 0.4 m entre plantas y 2 a 3 tubérculos por golpe, cumpliendo así con una distribución adecuada para la expresión morfológica individual de cada planta.

Para garantizar la identificación durante todo el periodo de evaluación, cada hilera fue señalizada con una etiqueta que contenía el acrónimo del cultivar correspondiente. Esta organización permitió llevar a cabo la descripción de caracteres morfológicos de manera clara y sistemática. La (Figura 2) se ilustra el croquis que describe la ubicación de las entradas en la parcela experimental.

Figura 2

Croquis de distribución de las 30 entradas de papa grupo Phureja en el ensayo de la variabilidad morfológica y niveles de ploidía.



3.3.2 Conducción del experimento

a) Preparación del terreno

El terreno fue preparado con dos semanas de anticipación con herramientas manuales, utilizando zapico y rastrillo para remover, mullir y nivelar el suelo.

b) Estacado y surcado

Siguiendo el croquis del diseño experimental, se procedió a la demarcación del campo utilizando una wincha y cordel. En cada hilera de siembra de colocó su estaca con su respectiva etiqueta, identificando claramente las entradas. La separación entre hileras se hizo a un distanciamiento de 0.9 m

c) Siembra y abonamiento

La siembra se llevó a cabo el día 05 de abril, siguiendo la distribución establecida en el croquis experimental. En cada hilera se sembró una entrada, colocando 8 plantas por surco, con una distancia de 0.9 m entre hileras y 0.4 m entre plantas, lo que representa una densidad de 27778 plantas ha^{-1} . La siembra se efectuó por golpe, utilizando 2 a 3 tubérculos semilla por planta (por tratarse de semilla pequeña de aproximadamente 20 a 30 g) y de 16 a 24 semillas por entrada. Simultáneamente, se aplicó guano de isla alrededor de la semilla a razón de 1 t ha^{-1} ¹ (36 g planta^{-1}).

d) Riego

El primer riego se realizó a los siete días posteriores a la instalación del experimento, mediante el sistema de riego por gravedad. Posteriormente, y durante la fase inicial de desarrollo del cultivo, se empleó riego por aspersión tipo mariposa, aplicándose de manera diaria en horas de la tarde entre las 17:00 y 18:00 horas, debido a las altas temperaturas y fuerte radiación solar registradas durante ese periodo. El riego se ajustó semanalmente según los requerimientos hídricos del cultivo y las condiciones climáticas predominantes.

e) Deshierbo

El primer deshierbo se realizó aproximadamente al primer mes de establecido el cultivo, cuando las plantas presentaban una altura cercana a los 15–20 cm. Esta labor se efectuó de forma manual, utilizando lampa, con el objetivo de eliminar malezas competidoras en las hileras y entre plantas. Posteriormente, se realizó un segundo deshierbo en el cual también se procedió a colocar tierra alrededor del tallo de las plantas, efectuando un aporque manual que favoreció la estabilidad y el desarrollo del tubérculo.

f) Aporque

El aporque se realizó a los 60 días después de la siembra. Esta labor consistió en acumular tierra alrededor de la base de los tallos, con el propósito de evitar la exposición de los estolones a la luz solar y prevenir la formación de tallos aéreos. La actividad se ejecutó manualmente utilizando lampa, favoreciendo también la estabilidad de las plantas y la formación adecuada de los tubérculos.

g) Control fitosanitario

Se realizó el control de las principales plagas y enfermedades presentes en el cultivo. Para el manejo del insecto conocido como “pulga saltona” (*Epitrix* sp.), se aplicó el insecticida TIFON 4E, cuyo ingrediente activo es cipermetrina al 40%. El producto fue aplicado directamente sobre el área foliar, utilizando una dosis de 0.3 L por cada 200 L de agua, equivalente a 30 mL por mochila de 20 L. Se efectuaron dos aplicaciones: la primera, a las tres semanas después de la siembra, y la segunda, a los 45 días.

Para el control del “gorgojo de los Andes” (*Premnotrypes vorax*), se utilizó el insecticida MATRIX 200 SC, cuyo ingrediente activo es clorantraniliprol al 20%. Este se aplicó en la base de los tallos a razón de 0.2 L por cada 200 L de agua, equivalente a 20 mL por mochila de 20 L. Esta aplicación se realizó una sola vez, a primera hora de la mañana, a las seis semanas después de la siembra.

h) Cosecha

Se realizó cuando cada entrada alcanzó la madurez comercial, evidenciada por el marchitamiento natural del follaje y mediante la prueba de fricción de los tubérculos con los dedos (si no se levanta la piel, indica que el tubérculo está maduro) (Tapia - Vásquez, 2017). Esta labor se llevó a cabo de forma periódica, iniciando a los 90 días después de la siembra y extendiéndose hasta los 118 días, según el estado de madurez observado en cada cultivar. La recolección se realizó de manera manual, extrayendo los tubérculos con lampa para evitar daños físicos y facilitar su posterior evaluación.

3.3.3 *Evaluaciones realizadas en campo*

Para cada uno de los 30 cultivares, se seleccionaron seis plantas centrales por hileras (de un total de 8 plantas sembradas por cultivar) a fin de evitar efectos de borde y obtener datos representativos.

Los caracteres evaluados corresponden a descriptores morfológicos establecidos por el (CIP), adaptados de la guía metodológica propuesta por Gómez (2006) la cual establece los momentos óptimos para la toma de datos en distintas fases del desarrollo fenológico: floración ($\geq 75\%$), fructificación, cosecha y brotación. Los registros se realizaron de forma visual y manual siguiendo protocolos definidos para cada descriptor.

3.3.4 *Caracterización morfológica*

La caracterización morfológica se desarrolló considerando 33 descriptores agrupados en cuatro etapas fenológicas: floración, fructificación, tubérculo a la cosecha y brotamiento. Para estandarizar la recolección de datos, se codificaron las características según escalas numéricas propuestas por la guía del CIP (Gómez, 2006) adaptados metodológicamente para este estudio, tomando como referencia el trabajo desarrollado por (Tapia - Vásquez, 2017). A cada descriptor se le asignó un acrónimo con fines de ordenamiento y análisis multivariado, como se muestra en la (Tabla 3). Las escalas de codificación utilizadas para cada descriptor, se

encuentran detalladas en (Anexo 1). Para el caso de los descriptores relacionados al color de la flor y piel del tubérculo, se utilizó la tabla de doble entrada del CIP (Anexo 2). Considerando las evaluaciones realizadas antes de la cosecha, durante la cosecha y en la postcosecha.

Tabla 3

Lista de descriptores morfológicos evaluados y sus respectivos acrónimos.

Nº	Acrónimo	Descriptor	Etapa fenológica
1	HABCR	Hábito de crecimiento	Floración
2	TIDHO	Tipo de disección de la hoja	Floración
3	NFLAT	Número de foliolos laterales	Floración
4	NHIFO	Número de interhojuelas entre foliolos laterales	Floración
5	NHPEC	Número de interhojuelas sobre peciolulos	Floración
6	COLTA	Color de tallo	Floración
7	FOALA	Forma de alas del tallo	Floración
8	GRFLR	Grado de floración	Floración
9	FOCOR	Forma de corola	Floración
10	CPFLR	Color predominante de flor	Floración
11	ICFLR	Intensidad de color predominante de la flor	Floración
12	CSFLR	Color secundario de flor	Floración
13	DCFLR	Distribución del color secundario de flor	Floración
14	PGANT	Pigmentación de anteras	Floración
15	PGPIS	Pigmentación de pistilo	Floración
16	COLCA	Color de cáliz	Floración
17	COLPE	Color de pedicelo	Floración
18	COLBY	Color de la baya	Fructificación
19	FOBAY	Forma de la baya	Fructificación
20	MADUR	Madurez	Fructificación
21	CPTUB	Color externo predominante del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
22	ICTUB	Intensidad de color externo predominante del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
23	CSTUB	Color secundario del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
24	DSTUB	Distribución de color secundario del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
25	FGTUB	Forma general del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
26	VFTUB	Variante de la forma del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
27	PROOJ	Profundidad de ojos	Tubérculo a la cosecha
28	CPPUL	Color predominante de la pulpa del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
29	CSPUL	Color secundario de la pulpa del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
30	DSPUL	Distribución del color secundario de la pulpa del tubérculo	Tubérculo a la cosecha
31	CPBRT	Color predominante del brote	Brotamiento
32	CSBRT	Color secundario del brote	Brotamiento
33	DSBRT	Distribución del color secundario del brote	Brotamiento

Nota. Adaptado de (Gómez, 2006)

3.3.5 Análisis de datos morfológicos

Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H')

La diversidad morfológica se evaluó mediante el índice de Shannon-Weaver (H'), el cual cuantifica la incertidumbre asociada a la distribución de los estados de cada descriptor morfológico. Este índice refleja tanto la riqueza (número de estados presentes) como la

equitatividad en su frecuencia relativa, siendo ampliamente utilizado en estudios de diversidad genética y agrobiodiversidad (Franco y Hidalgo, 2003; Palaghianu, 2014). La fórmula empleada fue:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln (p_i)$$

Donde:

p_i representa la proporción del i -ésimo estado y n el número total de estados. Los valores del índice H' varían desde 0 (ausencia de diversidad, monomorfismo) hasta un valor máximo teórico $H'_{\max} = \ln(n)$, correspondiente a una distribución uniforme de los estados. Para su interpretación se emplearon los siguientes rangos: Alta diversidad: $H' > 1.0$, Media: $0.5 < H' \leq 1.0$, Baja: $H' \leq 0.5$, Ausencia de diversidad: $H' = 0$

Además, se estimó el índice de equidad (J) como la razón entre el valor observado de H' y su valor máximo posible ($J = H'/H'_{\max}$). Este índice oscila entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una representación equitativa de los estados morfológicos, mientras que valores próximos a 0 reflejan una dominancia marcada de uno o pocos estados.

Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM)

El ACM se utilizó como técnica multivariada para el análisis de los descriptores morfológicos, los cuales fueron de naturaleza cualitativa. Este método permite reducir la dimensionalidad de los datos, es decir, resumir la información contenida en múltiples variables en un menor número de dimensiones factoriales, facilitando su visualización e interpretación. Las proyecciones obtenidas en el plano factorial reflejan la similitud o disimilitud entre cultivares y estados de los descriptores. De esta manera, los cultivares con combinaciones similares de estados morfológicos tienden a agruparse en regiones próximas del plano factorial (Greenacre, 2007; Le Roux & Rouanet, 2011).

Contribución de los descriptores a la diversidad morfológica

Se estimó la contribución de cada descriptor morfológico y de sus estados a la variabilidad explicada por las dimensiones factoriales del ACM, con el fin de identificar aquellos con mayor capacidad discriminante entre cultivares. En base a ello, se consideró a un descriptor como altamente discriminante cuando su contribución superó el valor esperado bajo una distribución uniforme de la inercia, es decir, $100/n\%$, donde n corresponde al número de descriptores analizados. La evaluación de las contribuciones permitió jerarquizar los descriptores en función de su relevancia en la estructuración de la diversidad morfológica, diferenciando aquellos que aportan información significativa de los que tienen un efecto marginal en la variabilidad total (Greenacre, 2007).

Distribución de cultivares

La distribución de los cultivares en el espacio morfológico se evaluó a partir de los resultados del ACM. Este proyecta los cultivares en un plano definido por dimensiones factoriales, las cuales son combinaciones lineales de los descriptores morfológicos que capturan la mayor parte de la variabilidad presente en los datos (Greenacre, 2007). Cada dimensión representa un eje que resume información de múltiples descriptores, permitiendo reducir la complejidad del conjunto de datos original sin perder tendencias relevantes.

En el plano factorial, la proximidad entre cultivares indica similitud morfológica: los cultivares cercanos comparten características similares, mientras que los alejados presentan diferencias significativas (Perelman & Puhl, 2023). De esta forma, la distribución de los puntos permite identificar posibles agrupamientos naturales y patrones de variación dentro de la colección de germoplasma

Patrones morfológicos y origen geográfico

La representación gráfica de los resultados se realizó mediante biplots construidos a partir de las dos primeras dimensiones factoriales del ACM, las cuales concentran el mayor porcentaje de la variabilidad. Estos gráficos posibilitaron identificar agrupamientos de cultivares y tendencias en los patrones morfológicos. Con el fin de evaluar la posible influencia del origen geográfico (a nivel distrital) en la organización de la variabilidad, se incluyeron elipses de confianza al 95% alrededor de las colectas de cada procedencia. Este procedimiento permite explorar de manera visual la existencia de estructuración asociada al origen, es decir, si los cultivares provenientes de una misma zona geográfica tienden a concentrarse en un área determinada del espacio factorial (Le Roux & Rouanet, 2011).

Determinación del número óptimo de clústeres mediante el índice de silueta

Para determinar el análisis de agrupamiento jerárquico, una etapa previa consistió en establecer el número óptimo de clúster que mejor representara la diversidad morfológica entre los cultivares. Para ello, se empleó el índice de silueta, el cual evalúa simultáneamente dos aspectos importantes: la cohesión interna de cada clúster (medida por la proximidad entre los cultivares que lo conforman) y su separación respecto a otros grupos (basada en la distancia al clúster más cercano) (Everitt et al., 2011).

El cálculo del índice se realizó considerando la posición de cada cultivar en el espacio factorial definido por el ACM, donde se comparó su distancia promedio con los demás elementos de su mismo clúster frente a la distancia promedio con los cultivares del clúster más próximo. El índice de silueta toma valores en un rango de -1 a 1, donde: valores próximos a 1 indican una agrupación bien definida, con clústeres compactos y bien separados. Valores cercanos a 0 sugieren que los clústeres presentan cierto solapamiento. Valores negativos señalan que los cultivares podrían estar asignados incorrectamente (Husson et al., 2017).

En este estudio, se analizaron configuraciones desde 1 hasta 10 clústeres, calculando para cada una el valor promedio del índice de silueta. La partición óptima correspondió a aquella en la que este índice alcanzó su valor máximo, garantizando así la estructura de agrupación más coherente y significativa para los datos analizados. Este enfoque metodológico permitió minimizar la subjetividad en la selección del número de clústeres, proporcionando una base estadísticamente robusta para interpretar la diversidad morfológica de los cultivares.

Análisis de agrupamiento jerárquico

La estructura de la diversidad morfológica se complementó con un análisis de agrupamiento jerárquico, aplicado sobre las coordenadas factoriales obtenidas del ACM. Se empleó el método de Ward D² junto con la distancia euclíadiana, por ser ampliamente reconocidos en estudios de caracterización debido a su capacidad para generar grupos compactos y bien definidos (Donato et al., 2020; Pandey et al., 2023).

El número óptimo de grupos se determinó mediante el índice promedio de silueta, que permite evaluar la calidad del agrupamiento. Este índice toma valores entre -1 y 1, siendo cercanos a 1 los que indican mayor cohesión interna y mejor separación entre grupos. De esta manera, se seleccionó la partición que maximizó la consistencia interna de los grupos y minimizó la ambigüedad en la asignación de los cultivares.

Al integrar los índices de diversidad con los métodos multivariados, fue posible caracterizar de manera robusta la variabilidad morfológica y su estructuración en función del origen de los cultivares. Este enfoque combinado permitió no solo cuantificar la magnitud de la diversidad, sino también identificar patrones de asociación y agrupamientos consistentes entre cultivares.

Todos los procedimientos estadísticos se implementaron en RStudio v. 4.5.1 utilizando los paquetes vegan (Oksanen et al., 2025), FactoMineR (Lê et al., 2008), factoextra

(Kassambara & Mundt, 2020), cluster (Maechler et al., 2025) y ggplot2 (Wickham et al., 2016), lo que garantizó un análisis reproducible y visualmente interpretativo de los resultados.

3.4. Nivel de ploidía de las colectas mediante el conteo de cloroplastos en células guarda estomáticas

El conteo de cloroplastos en las células guarda es un método indirecto, para conocer la ploidía de la papa, cuya metodología ha sido establecida por el CIP. El método consiste en contar el número de cloroplastos en células guarda de los estomas y de acuerdo a los rangos establecidos (Tabla 4), se puede estimar el nivel de ploidía en plantas, del siguiente modo:

Tabla 4

Escala para determinar la ploidía de un genotipo.

Nº de cloroplastos en las células guarda de los estomas	Ploidía
6-8	Diploide ($2n=2x=24$)
9-11	Triploide ($2n=3x=36$)
12-14	Tetraploide ($2n=4x=48$)

Nota: Conteo de cloroplastos en las células guarda de los estomas (Ordoñez, 2014).

Procedimiento

Según Ordoñez (2014) para realizar las evaluaciones, se utilizó 5 foliolos jóvenes ubicados en el tercio superior para cada una de los 30 cultivares. Los foliolos fueron conservados en placas de Petri para evitar su desecación contenido papel toalla, humedecido con agua destilada para luego ser trasladadas al laboratorio.

- **Obtención de tejido.** Se realizó un despegue del tejido epidérmico del envés foliar.
- **Preparación de la muestra.** Se colocó de 1 a 2 gotas de solución de yodo-yoduro de potasio (I-KI) en el centro de una lámina portaobjeto. Luego, con ayuda de una pinza fina, se extrae el tejido epidérmico del envés de la hoja, preferentemente de una zona cercana a las

nervaduras y se lo coloca cuidadosamente sobre la lámina, se agrega dos gotas más sobre la muestra y se cubre con la lámina cubreobjeto.

- **Observación.** Se examinó las muestras al microscopio óptico con aumentos de 200X y se contabilizó el número de cloroplastos contenidos dentro de una célula guarda de las estomas y en estomas diferentes para obtener el promedio y así estimar el nivel de ploidía.

Este procedimiento ha sido validado en papa mediante estudios que lo emplearon como método fiable, rápido y económico para preseleccionar genotipos según su ploidía (Ordoñez, 2014; Chepkoech et al., 2019).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variabilidad morfológica de 30 cultivares de papa (*Solanum tuberosum L.*) grupo *Phureja*

La caracterización de cada entrada, conforme se describió en la metodología, permitió obtener una MBD en Excel versión 2016, que sirvió como base para el análisis estadístico multivariado. La matriz tuvo una estructura de $p \times n$, donde las p filas correspondieron a las 30 unidades técnicas operativas (cultivares) y las n columnas representaron los 33 descriptores morfológicos evaluados. Cada celda consignó el valor o estado específico de cada descriptor para cada cultivar, reflejando la variabilidad registrada (Tapia - Vásquez, 2017; Seminario et al., 2019).

La organización de la información en esta matriz permitió visualizar de manera sistemática la amplitud de la variación morfológica presente en la colección, además de facilitar su procesamiento mediante el programa RStudio v. 4.5.1. A través de este software se realizaron los análisis de correspondencias múltiples y de agrupamiento jerárquico, los cuales posibilitaron identificar patrones de similitud y divergencia entre cultivares, así como distinguir grupos morfológicamente diferenciados y posibles duplicados dentro de la colección en estudio.

Tabla 5

Matriz básica de datos (MBD) para la caracterización de 30 cultivares de papa grupo Phureja en la Región de Cajamarca.

Cultivar	Acrónimo	Descriptor																																
		HABCR	TIDHO	NFLAT	NHIFO	NHPEC	COLTA	FOALA	GRFLR	FOCOR	CPFLR	ICFLR	CSFLR	DCFLR	PGANT	PGPIS	COLCA	COLPE	COLBY	FOBAY	MADUR	CPTUB	ICTUB	CSTUB	DSTUB	FGTUB	VFTUB	PROOI	CPPUL	CSPUL	DSPUL	CPBRT	CSBRT	DSBRT
Ch. Amarilla	AMAR	3	3	4	4	0	4	1	5	7	6	2	1	3	0	0	3	4	2	1	3	2	2	0	0	5	4	0	0	1	4	1		
Ch. Amarilla antigua	AMAN	3	3	4	2	0	2	1	3	3	7	3	1	3	0	0	2	4	5	5	3	2	2	0	0	1	5	3	0	0	1	5	3	
Ch. Amarilla común	AMCO	3	3	4	2	0	2	1	5	7	3	2	1	3	0	0	4	5	2	1	3	2	2	0	0	1	5	5	0	0	2	1	1	
Ch. Amarilla grande	AMGR	3	3	5	4	0	2	1	5	7	7	2	1	3	0	0	5	7	4	1	3	2	2	0	0	2	0	5	4	0	0	1	4	1
Ch. Amarilla larga	AMLA	2	3	5	4	0	1	1	5	7	3	3	0	0	0	0	5	8	5	3	3	2	2	0	0	4	0	3	3	0	0	1	1	4
Ch. Amarilla redonda	AMRE	3	3	4	2	0	1	1	3	7	7	2	1	3	0	0	2	4	2	1	3	2	3	0	0	1	0	5	5	0	0	1	2	1
Ch. Blanca	BLAN	3	3	6	4	4	1	2	5	7	8	2	1	3	0	0	2	3	4	7	3	2	1	9	5	1	0	5	1	0	0	1	5	3
Ch. Bola de cuy	BOCU	3	3	4	2	0	2	2	5	9	4	1	0	0	0	0	5	4	0	0	3	2	1	8	1	3	0	3	1	0	0	1	5	1
Ch. Chachapoyana-3	CHA3	2	3	4	4	0	2	2	3	7	1	3	0	0	0	0	2	1	2	1	3	2	1	8	1	4	2	5	2	0	0	5	1	1
Ch. Chilopa	CHIL	3	3	6	4	4	4	1	5	7	6	1	1	3	0	0	3	4	2	1	3	6	3	0	0	2	0	5	6	2	5	3	1	1
Ch. Clavelina	CLAV	3	3	5	4	0	2	2	7	7	7	3	0	0	0	0	5	8	2	6	3	2	3	7	4	7	8	5	5	0	0	3	1	1
Ch. Ecuatoriana	ECUA	3	3	3	0	0	2	2	5	7	7	2	1	2	0	0	4	3	2	7	3	2	2	0	0	2	0	5	3	0	0	1	4	3
Ch. Huamantanga	HUAM	3	3	5	4	3	2	2	7	7	8	2	1	2	0	0	5	7	5	5	3	2	3	0	0	7	4	3	4	0	0	4	1	1
Ch. Huevo	HUEV	2	3	4	1	0	2	2	3	7	8	2	1	2	0	0	3	8	6	5	3	2	2	7	4	7	0	3	4	0	0	4	1	5
Ch. Larga	LARG	3	3	5	4	1	2	2	5	7	7	2	0	0	0	0	5	7	2	4	3	2	2	0	0	4	0	3	3	0	0	4	1	3
Ch. Limeña blanca	LIBL	3	3	4	2	0	2	1	5	7	6	2	1	3	0	0	2	3	4	1	3	2	2	0	0	2	0	5	3	0	0	4	1	1
Ch. Machala-1	MAH1	2	3	5	4	4	5	1	5	7	8	2	1	3	0	3	5	7	1	1	3	7	3	8	1	2	1	5	2	0	0	5	0	0
Ch. Machala-2	MAH2	2	3	5	4	4	7	1	5	7	8	2	1	3	0	3	5	8	1	1	3	7	3	8	1	2	0	5	2	0	0	5	0	0
Ch. Montañera	MONT	3	3	5	4	4	4	1	5	7	6	1	1	3	0	0	2	3	2	1	3	8	3	4	4	2	0	5	1	0	0	5	1	1
Ch. Negra-1	NEG1	3	3	6	4	4	3	1	5	7	7	3	1	3	0	3	5	4	2	1	3	9	3	0	0	1	0	7	2	8	1	5	1	3
Ch. Negra-2	NEG2	3	3	5	4	4	1	2	5	7	8	3	1	2	0	0	2	3	4	1	3	9	3	1	4	1	0	5	1	0	0	5	1	1
Ch. Pabla	PABL	3	3	4	4	0	5	0	5	7	3	2	0	0	0	0	5	8	6	3	3	5	2	0	0	5	4	3	3	0	0	5	2	1
Ch. Pañuelita-1	PAÑ1	3	3	3	2	0	1	2	3	7	7	3	0	0	0	0	4	7	7	5	3	2	1	7	4	5	4	5	4	0	0	1	2	3
Ch. Pañuelita-2	PAÑ2	2	3	3	4	3	1	1	5	7	6	2	1	3	0	0	2	8	1	1	3	2	2	6	4	2	4	3	3	0	0	4	1	1
Ch. Pimpinela	PIMP	3	3	4	3	1	4	1	5	7	1	3	0	0	0	0	4	4	5	1	3	6	3	0	0	1	0	7	2	6	4	3	1	1
Ch. Poroporo	PORO	3	3	5	4	1	2	2	5	7	7	3	0	0	0	0	5	8	6	5	3	2	2	0	0	4	0	3	3	0	0	3	1	5
Ch. Runga	RUNG	2	3	4	4	0	2	1	5	7	6	2	1	3	0	0	5	7	2	3	3	2	1	0	0	1	0	5	3	0	0	4	2	1
Ch. S/N	SNXX	3	3	4	2	0	2	1	5	7	3	2	0	0	0	0	5	7	5	1	3	2	2	6	2	1	0	5	3	0	0	3	1	1
Ch. Shoga roja	SHOR	3	3	3	4	0	3	1	3	7	2	3	0	0	0	0	3	8	5	1	3	6	3	0	0	2	2	3	4	0	0	4	3	4
Ch. Tulpuna	TULP	3	3	5	2	0	2	1	5	7	6	3	1	3	0	0	2	4	2	3	3	7	3	0	0	1	0	5	2	6	4	3	1	1

Nota: para el significado de los acrónimos, ver la Tabla 2, y para los descriptores, ver la Tabla 3 en Materiales y Métodos.

4.1.1 Análisis de la Variabilidad Morfológica

a. Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H')

La Tabla 6 permite evidenciar variabilidad morfológica amplia entre los cultivares evaluados. Se identificaron tres variables monomórficas (TIDHO, PGANT y MADUR) que no aportaron diversidad, al presentar un único estado morfológico. El índice de Shannon-Weaver varió de 0.00 y 1.65, la mayoría de los caracteres mostró niveles de diversidad moderada a alta, siendo 16 variables las que superaron un valor de $H' > 1.0$ y 15 de ellas acompañadas de una equidad superior a 0.75, reflejando una distribución relativamente equilibrada entre los estados presentes.

Variables como NFLAT, COLCA, COLPE, CPTUB, CPPUL y CPBRT destacaron por presentar tanto alta diversidad como equidad ($H' > 1.2$; evenness > 0.8), lo cual evidencia una riqueza y distribución homogénea de estados morfológicos, cualidades deseables en programas de mejoramiento genético por su potencial adaptativo.

Tabla 6

Índices de diversidad morfológica según Shannon-Weaver, diversidad máxima teórica y equidad para 33 variables morfológicas en cultivares de papa grupo Phureja.

N	Variable	H'	H' _{max}	Evenness	Categoría de diversidad
1	HABCR	0.54	0.69	0.78	Diversidad media
2	TIDHO	0	-----	-----	Sin diversidad
3	NFLAT	1.23	1.39	0.89	Alta diversidad
4	NHIFO	0.98	1.61	0.61	Diversidad media
5	NHPEC	1.06	1.39	0.76	Alta diversidad
6	COLTA	1.42	1.79	0.79	Alta diversidad
7	FOALA	0.79	1.1	0.72	Diversidad media
8	GRFLR	0.8	1.1	0.73	Diversidad media
9	FOCOR	0.29	1.1	0.27	Baja diversidad
10	CPFLR	0.63	1.39	0.45	Diversidad media
11	ICFLR	1.07	1.1	0.97	Alta diversidad
12	CSFLR	0.77	1.1	0.7	Diversidad media
13	DCFLR	1.01	1.1	0.92	Alta diversidad
14	PGANT	0	-----	-----	Sin diversidad
15	PGPIS	0.33	0.69	0.47	Baja diversidad
16	COLCA	1.26	1.39	0.91	Alta diversidad
17	COLPE	1.57	1.79	0.88	Alta diversidad
18	COLBY	1.36	1.79	0.76	Alta diversidad
19	FOBAY	1.42	1.95	0.73	Alta diversidad
20	MADUR	0	-----	-----	Sin diversidad
21	CPTUB	1.65	1.95	0.85	Alta diversidad
22	ICTUB	0.99	1.1	0.9	Diversidad media
23	CSTUB	1.44	2.08	0.69	Alta diversidad
24	DSTUB	1.26	1.79	0.7	Alta diversidad
25	FGTUB	1.62	2.08	0.78	Alta diversidad
26	VFTUB	0.9	1.61	0.56	Diversidad media
27	PROOJ	0.77	1.1	0.7	Diversidad media
28	CPPUL	1.47	1.79	0.82	Alta diversidad
29	CSPUL	0.53	1.39	0.38	Diversidad media
30	DSPUL	0.53	1.39	0.38	Diversidad media
31	CPBRT	1.62	1.79	0.91	Alta diversidad
32	CSBRT	1.23	1.61	0.77	Alta diversidad
33	DSBRT	0.76	1.1	0.69	Diversidad media

Categorías de diversidad basadas en H': Alta diversidad: H' > 1.0, Media: 0.5 < H' ≤ 1.0, Baja: H' ≤ 0.5, Sin diversidad: H' = 0"

Los valores del índice de Shannon-Weaver (H') para caracteres morfológicos variaron entre 0,00 y 1,65, con predominancia de variables con diversidad moderada a alta (H' > 1.0). Este rango es comparable con el observado en estudios genéticos de diversidad en papa mediante marcadores SSR, como el de Lee et al. (2021) quienes evaluaron 482 accesiones y 24 loci SSR, reportando valores de H' entre 0,39 y 2,00, con un promedio general de 1,44.

Asimismo, Samiha et al. (2024) encontraron índices a 1,8 en evaluaciones combinadas de caracteres cuantitativos y cualitativos en bancos de germoplasma, lo cual refuerza la validez del índice de Shannon como una herramienta confiable para detectar variabilidad, incluso en colecciones más reducidas. En ambos casos, los valores altos de H' reflejan una rica diversidad genética, lo cual coincide con los resultados aquí obtenidos para papa grupo *Phureja*.

b. Análisis de correspondencias múltiples (ACM)

El ACM (Figura 3) permitió explorar la covariación entre 33 descriptores morfológicos en 30 cultivares de papa grupo *Phureja*. Las dos primeras dimensiones explicaron en conjunto el 16.76% de la variabilidad, un valor común en estudios con múltiples variables categóricas.

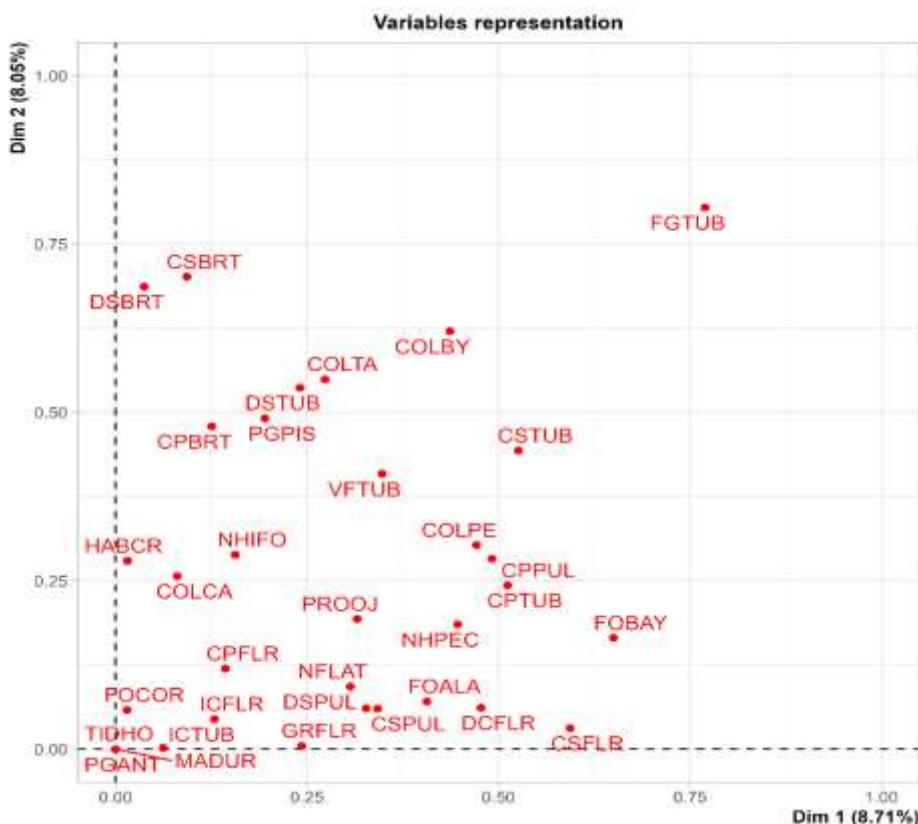
La Dimensión 1 (8.71 %) se asoció principalmente con caracteres del tubérculo y la pulpa, tales como: forma general del tubérculo, color secundario del tubérculo, color predominante de la pulpa del tubérculo y color externo predominante del tubérculo. En contraste, las variables relacionadas con brote y flor, como color secundario de brote, distribución del color secundario del brote y color secundario de flor, mostraron valores opuestos, lo que evidencia una diferenciación entre rasgos de brote y flor.

La Dimensión 2 (8.05 %) estableció un contraste entre caracteres de tubérculo, baya, y tallo, tales como: forma general del tubérculo, distribución de color secundario del tubérculo, color secundario de brote, distribución de color secundario de brote, color de la baya y color de tallo.

La distribución de las variables en el plano factorial, definida por los ejes Dim1 y Dim2, permitió visualizar la relación entre los descriptores. El cuadrante superior derecho agrupó caracteres del tubérculo; el cuadrante superior izquierdo concentró variables del brote; el cuadrante inferior derecho reunió rasgos de la pulpa y flor, mientras que el cuadrante inferior izquierdo correspondió a características con baja contribución a las dos primeras dimensiones.

Figura 3

Representación de los 33 descriptores morfológicos en 30 cultivares de papa grupo Phureja mediante ACM.



Los resultados del ACM mostraron alta diversidad morfológica de los cultivares, con asociaciones marcadas entre caracteres relacionados, especialmente del tubérculo, flor, baya y de la planta. Estudios como el de Latorre - Vásquez et al. (2021) quienes, al caracterizar 60 genotipos de papa grupo Phureja de Nariño (Colombia) mediante descriptores morfológicos cualitativos, observaron alta frecuencia de piel amarilla y morada, escasa presencia de color secundario, y variabilidad en la pigmentación de la pulpa, destacando tonalidades rojo/violeta distribuidas de forma dispersa.

Asimismo, Tapia – Vásquez (2017) en un estudio con accesiones de papa Phureja de Cajamarca, identificó ocho componentes principales que explicaron el 74 % de la variación morfológica. El primer componente (21 %) estuvo determinado por caracteres del tubérculo y

la hoja, como el color de la piel y el número de foliolos. Los siguientes componentes reflejaron la influencia de caracteres florales (pedicelo, cáliz), pigmentación del tubérculo, y aspectos como el hábito de crecimiento, forma y color de baya, y color del brote.

En conjunto, estos resultados refuerzan la utilidad del ACM como herramienta para reconocer patrones de variabilidad y orientar estrategias de conservación, selección y aprovechamiento sostenible de la diversidad morfológica de la papa Phureja en la Región de Cajamarca.

c. Análisis de la contribución de los 33 descriptores a la diversidad morfológica

La Figura 4 muestra los resultados del ACM aplicado a 33 descriptores morfológicas evaluados en 30 cultivares de papa grupo *Phureja*. Cada descriptor presentó distintos estados fenotípicos (colores, formas o distribuciones), que en conjunto generaron 58 estados analizados individualmente.

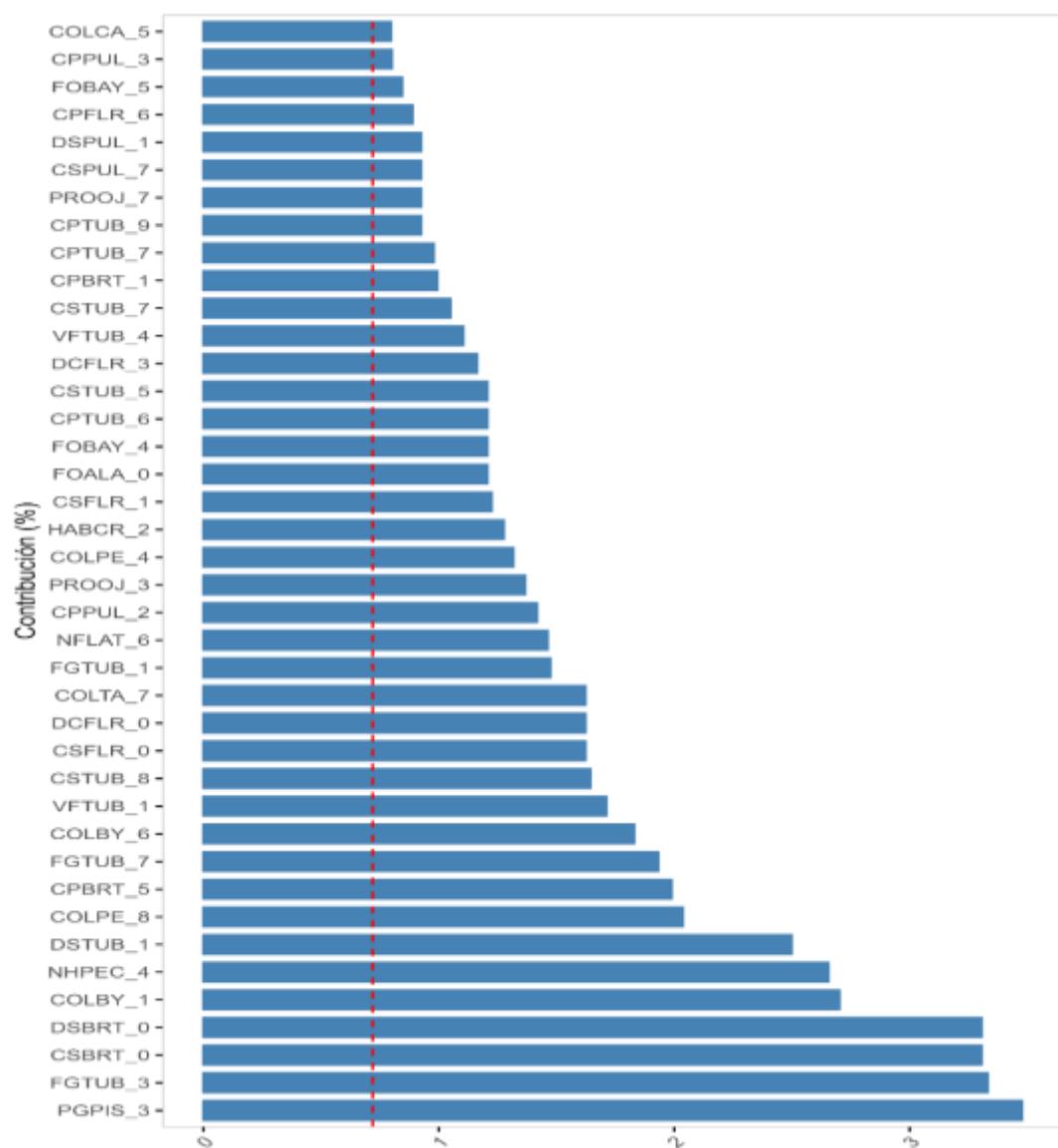
Las barras representan la contribución porcentual de cada estado fenotípico al total de la variabilidad morfológica, mientras que la línea punteada roja indica la contribución media esperada. Los estados que superan dicha línea presentan mayor capacidad discriminante entre los cultivares.

Entre los estados con mayor contribución ($>3\%$) destacan la pigmentación del pistilo (PGPIS), la forma general del tubérculo (FGTUB), el color secundario del brote (CSBRT) y la distribución del color secundario del brote (DSBRT). Otros estados relevantes ($>2\%$) incluyen el número de interhojuelas sobre peciolulos (NHPEC), el color de pedicelo (COLPE), el color de baya (COLBY) y la distribución del color secundario del tubérculo (DSTUB).

Este tipo de análisis permite priorizar los descriptores más útiles para futuras evaluaciones morfológicas y programas de conservación y mejoramiento genético.

Figura 4

Contribución porcentual de 33 descriptores morfológicos a la variabilidad total en 30 cultivares de papa grupo Phureja, obtenida mediante el ACM.



d. Análisis de la distribución de cultívares

La Figura 5 muestra el biplot obtenido del ACM aplicado a 30 cultívares de papa *Phureja*. Este gráfico representa la distribución de los cultívares en el plano definido por las dos primeras dimensiones factoriales (Dim 1 y Dim 2), que en conjunto explican el 16.7 % de la variabilidad morfológica total. En el biplot, cada punto corresponde a un cultívar, y la

distancia entre ellos refleja su grado de similitud o disimilitud morfológica. Los cultivares próximos entre sí presentan características similares, mientras que los ubicados en cuadrantes opuestos muestran mayor divergencia.

Los cultivares Machala-1 (MAH1) y Machala-2 (MAH2) se agrupan estrechamente en el extremo superior del gráfico, lo que sugiere una alta similitud morfológica entre ambos, posiblemente por tratarse de duplicados o variantes muy próximas.

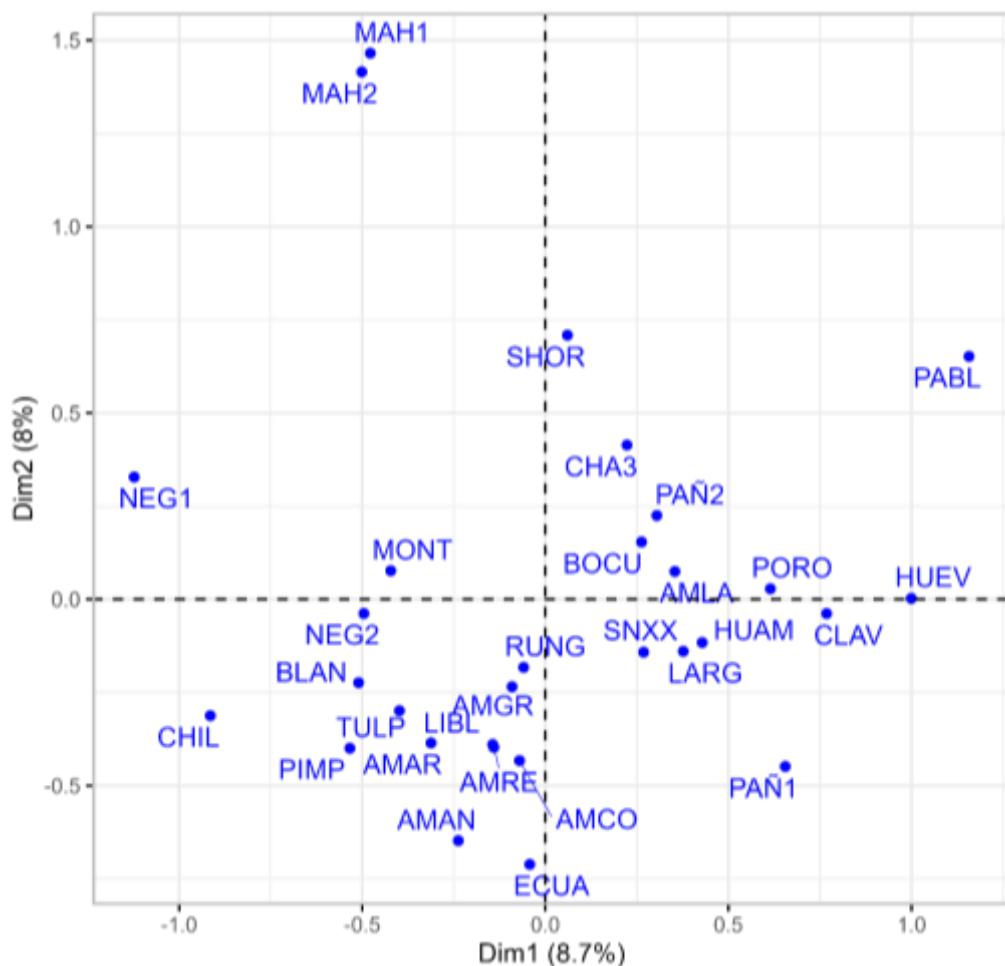
Un segundo grupo, conformado por Chilopa (CHIL), Pimpinela (PIMP), Tulpuna (TULP), Blanca (BLAN), Limeña blanca (LIBL), Amarilla (AMAR), Amarilla antigua (AMAN), y Negra-2 (NEG2), se ubica en el cuadrante inferior izquierdo, lo que indica que comparten rasgos morfológicos.

Bola de cuy (BOCU), Amarilla larga (AMLA), S/N (SNXX), Huamantanga (HUAM), Larga (LARG), Poroporo (PORO), Clavelina (CLAV), Huevo (HUEV), Amarilla grande (AMGR), Amarilla redonda (AMRE) y Amarilla común (AMCO) se concentran en la zona central y derecha del gráfico, lo que evidencia una mayor similitud morfológica. Dentro de este grupo, Shoga roja (SHOR), Chachapoyana-3 (CHA3) y Pañuelita-2 (PAÑ2) conforman un subgrupo en la región superior derecha, mientras que Ecuatoriana (ECUA) aparece en la parte inferior central y Montañera (MONT) se separa ligeramente del núcleo principal.

Finalmente, los cultivares más dispersos como Machala-1 (MAH1), Machala-2 (MAH2), Negra-1 (NEG1), Chilopa (CHIL), Pabla (PABL) y Pañuelita-1 (PAÑ1), destacan por ser únicos morfológicamente, en relación al resto.

Figura 5

Distribución de 30 cultivares de papa grupo Phureja en las dos primeras dimensiones del ACM.



El biplot permitió visualizar la estructura de la diversidad morfológica de los 30 cultivares de papa *Phureja* en el espacio definido por las dos primeras dimensiones factoriales, las cuales explicaron el 16.7 % de la variabilidad total. Este patrón guarda correspondencia con lo reportado por Andrade-Díaz (2024) al centrarse en genotipos del tipo *Phureja*, dicha variabilidad acumulada se incrementa a 18.8%, lo que sugiere que comparten descriptores cualitativos comunes y evidencia una mayor cohesión morfológica dentro de este grupo.

La agrupación estrecha de los cultivares MAH1 y MAH2 en el extremo superior del biplot sugiere una alta similitud morfológica, lo que podría indicar la presencia de

características únicas o posible duplicación. Este patrón coincide con lo reportado por Andrade-Díaz (2024) identificó genotipos duplicados en colecciones de papa *Phureja* y *Andigena*, como Phu-UNR18 con And-UNR145 y And-UNR146, y And-UNR113 con And-UNR135, basándose en perfiles morfológicos similares.

Los cultivares CHIL, PIMP, TULP, BLAN, LIBL, AMAR, AMAN y NEG2 se agrupan en el cuadrante inferior izquierdo, mientras que la mayoría, como BOCU, AMLA, SNXX, HUAM, LARG, PORO, CLAV, HUEV, AMGR, AMRE y AMCO, se concentran en la región central-derecha, con subgrupos definidos (SHOR, CHA3 y PAÑ2 en la parte superior; ECUA y MONT en posiciones más aisladas). Este patrón sugiere que el aumento de la distancia entre cultivares se asocia con una mayor divergencia fenotípica, donde poblaciones cercanas presentan mayor similitud genética por flujo de semillas, dispersión limitada del polen y adaptación local (Aksoy et al., 2021; Rachappanavar, 2023).

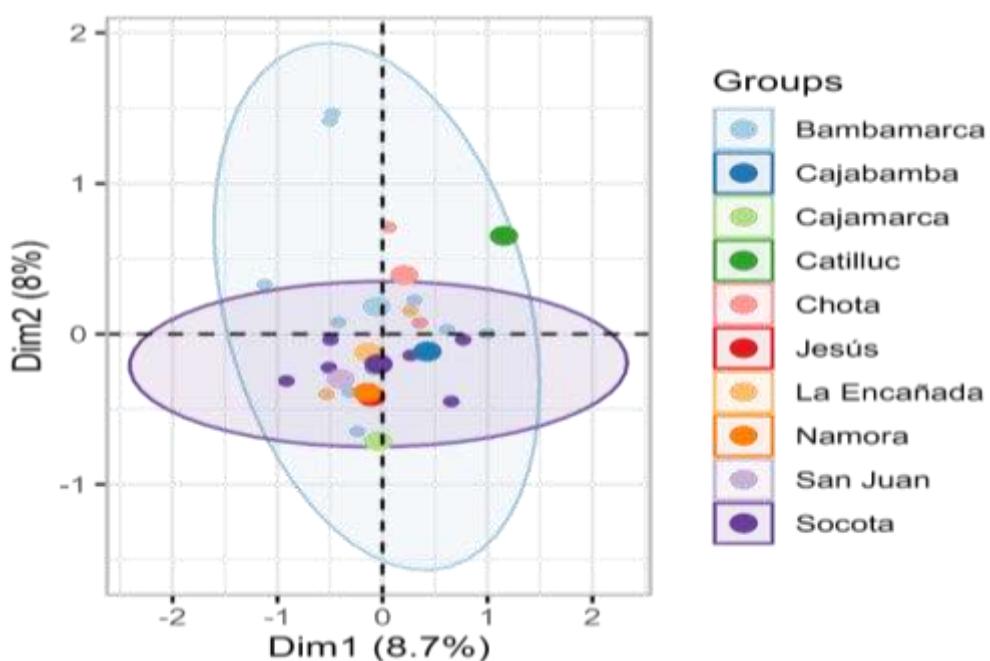
e. *Estructura de la diversidad morfológica según la zona de colecta*

La Figura 6, ilustra la distribución de los 30 cultivares en el plano definido por las dos primeras dimensiones, diferenciados por su zona de colecta (a nivel distrital) mediante colores y elipses de confianza al 95%. Las elipses representan la variabilidad morfológica interna de cada grupo y permiten visualizar el grado de superposición entre zonas de colecta. Aunque no se observa un agrupamiento estrictamente definido por procedencia geográfica, se distinguen al menos dos grandes estructuras de distribución geográfica. La primera, representada por una elipse celeste de orientación vertical y de mayor tamaño, que agrupa la mayoría de cultivares procedentes de distintas localidades, lo que sugiere una alta similitud morfológica entre genotipos de diverso origen. La segunda, de color morado oscuro y menor tamaño, se ubica principalmente en la zona central inferior del gráfico, con orientación horizontal y menor dispersión interna, lo que evidencia mayor homogeneidad morfológica entre los cultivares que la conforman.

La superposición de ambas elipses y la mezcla de colores indican que la variabilidad morfológica no está delimitada estrictamente por la zona de colecta, posiblemente debido a flujo de germoplasma entre regiones, presiones de selección similares o alta diversidad genética dentro de las mismas áreas de origen. Algunos cultivares situados fuera de las elipses, como el punto verde ubicado en la parte superior derecha del gráfico, presentan características morfológicas diferenciadas y únicas, que podrían resultar valiosas para programas de conservación o mejoramiento genético por su singularidad fenotípica.

Figura 6

Distribución de 30 cultivares de papa grupo Phureja en el plano de las dos primeras dimensiones, con elipses de confianza al 95% por zona de colecta.



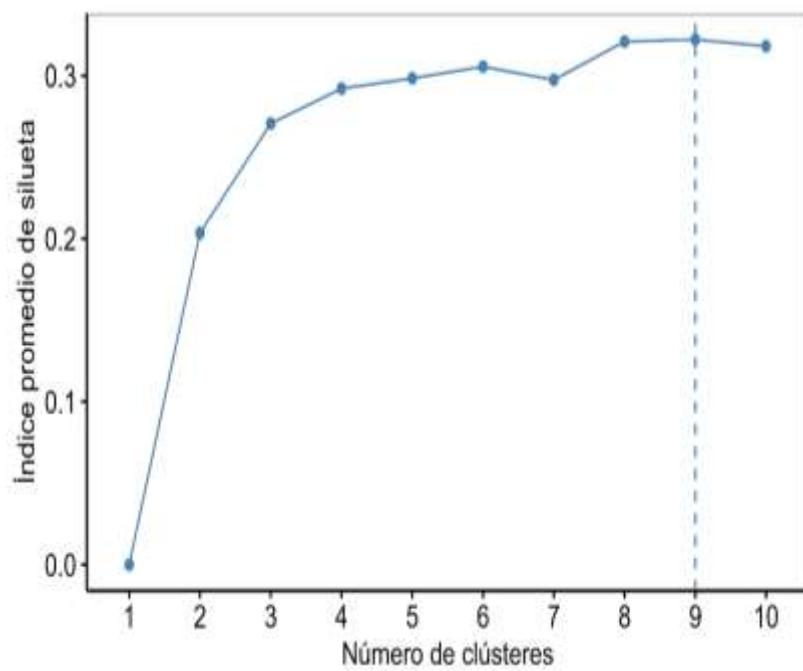
f. Número óptimo de clúster o grupos morfológicos

La Figura 7 muestra el número óptimo de clústeres mediante el índice promedio de silueta el cual permitió establecer que la partición más adecuada de los 30 cultivares corresponde a nueve grupos. Este índice, que mide la cohesión interna y la separación entre grupos, alcanzó su valor máximo aproximado de 0.33 en dicho punto, indicando una estructura

de agrupamiento bien definida. A partir de este número, el índice mostró una estabilización, lo que sugiere que incrementar la cantidad de clústeres no mejora la calidad del agrupamiento e incluso podría fragmentar grupos homogéneos. Por tanto, la elección de nueve clústeres resulta adecuada para representar la diversidad morfológica de la colección de papa grupo *Phureja*, facilitando su caracterización, conservación y aprovechamiento en programas de mejoramiento genético.

Figura 7

Determinación del número óptimo de grupos morfológicos (Clústeres).



h. Agrupamiento de los cultivares con respecto a su similitud morfológica.

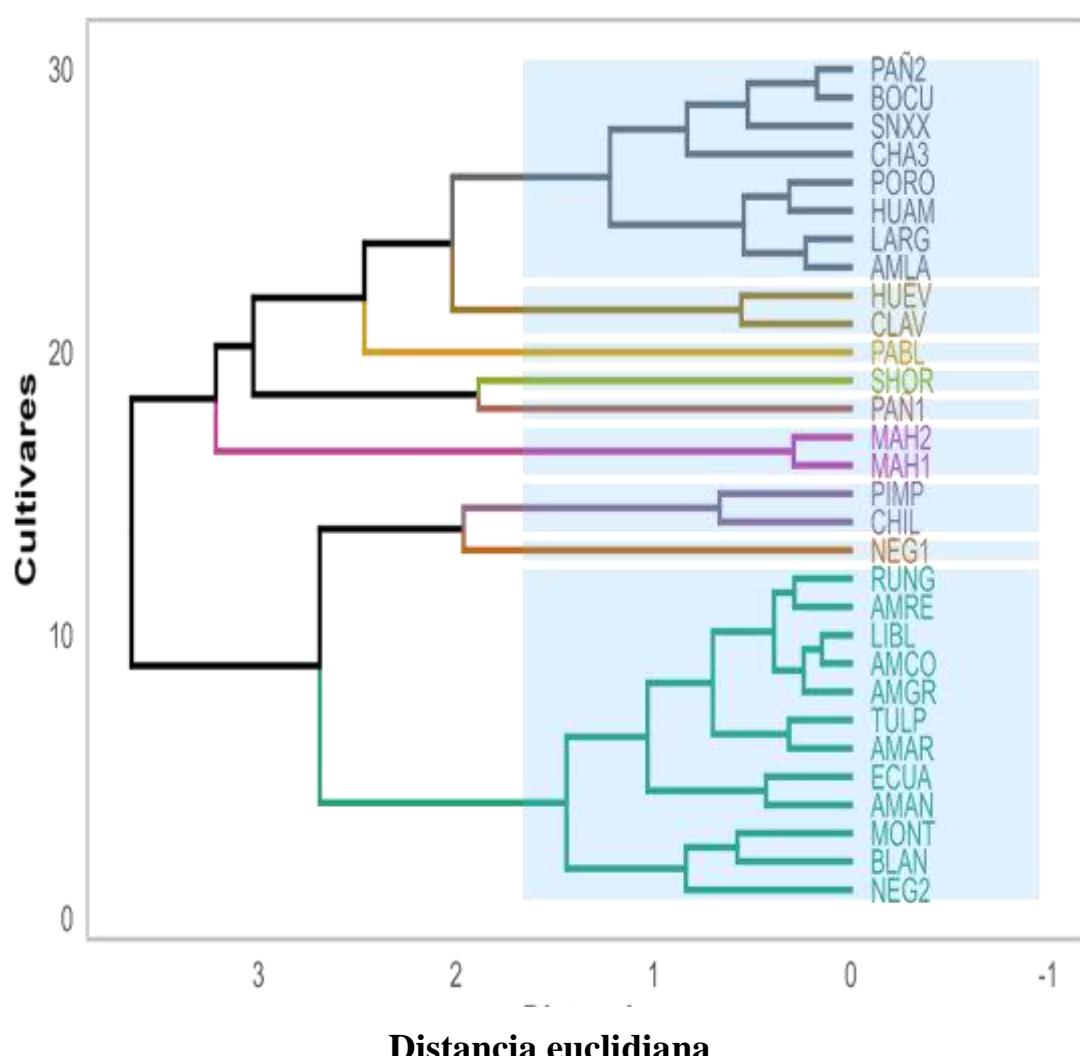
La Figura 8 muestra el dendrograma jerárquico obtenido a partir de la caracterización morfológica de 30 cultivares de papa *Phureja*, evidenciando la estructura de similitud entre ellos. De acuerdo al valor máximo del índice de silueta anterior (Figura 7), para obtener los nueve grupos recomendados como agrupamiento óptimo, el corte se realizó a una distancia aproximada de 1.67. Los clústeres tuvieron diferente número de componentes, uno de los grupos principales incluyó a ocho cultivares (PAÑ2, BOCU, SNXX, CHA3, PORO, HUAM,

LARG y AMLA), que presentan alta similitud morfológica. Otro clúster amplio agrupó a doce cultivares (RUNG, AMRE, LIBL, AMCO, AMGR, TULP, AMAR, ECUA, AMAN, MONT, BLAN y NEG2), que, pese a cierta variabilidad interna, comparten atributos comunes.

También se evidencian agrupaciones pequeñas y cultivares únicos, como NEG1 y PABL, que se posicionan de forma aislada, indicando una morfología distintiva. MAH1 y MAH2 conforman un grupo con alta afinidad, mientras que PAÑ1 y SHOR se agrupan con menor cercanía. El clúster de CHIL y PIMP refleja otra relación estrecha.

Figura 8

Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 30 cultivares de papa grupo Phureja, basado en su caracterización morfológica.



En el presente estudio, el análisis de agrupamiento jerárquico segmentado a una distancia aproximada de 1.67 sobre el eje de similitud permitió definir nueve clústeres distintos, lo que refleja una estructura más compacta que la observada en otros trabajos. Por ejemplo, Seminario y Zarpán (2011) reportaron que a una distancia de 0.58 se formaron 21 grupos, mientras que Seminario et al. (2019) aplicando un coeficiente de similitud intermedio de 0.63, identificaron 33 grupos. Latorre - Vásquez et al. (2021) indicó que, a una distancia de enlace de 0.08 unidades, el dendrograma permitió distinguir tres agrupaciones bien definidas de genotipos. En la primera de ellas se concentró el 45% del total evaluado (27 genotipos), en la segunda el 11,67% (7 genotipos) y en la tercera el 43,33% restante (26 genotipos). Esta diferencia sugiere que la distancia de corte utilizada en este estudio tiende a agrupar de manera más amplia a los cultivares, integrando en menos grupos aquellos que en análisis previos fueron clasificados en clústeres más pequeños o individuales, aportando información valiosa para la conservación del germoplasma y el diseño de estrategias en programas de mejoramiento genético.

A partir de la información consignada en la MBD (Tabla 5). Se documentaron las características morfológicas de 30 cultivares de papa Phureja, acompañadas de sus respectivas fotografías representativas como planta, hoja, flor, baya, tubérculo y brote. La descripción permitió registrar de manera visual y escrita la variabilidad presente en la colección, reflejando tanto diversidad genética como adaptaciones agroecológicas.

1. Ch. Amarilla



Ploidía: Tetraploide ($2n=4x=48$)

Planta: Decumbente, tallo pigmentado con abundante verde y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal lila, color secundario blanco distribuido en el acumen de haz y envés.

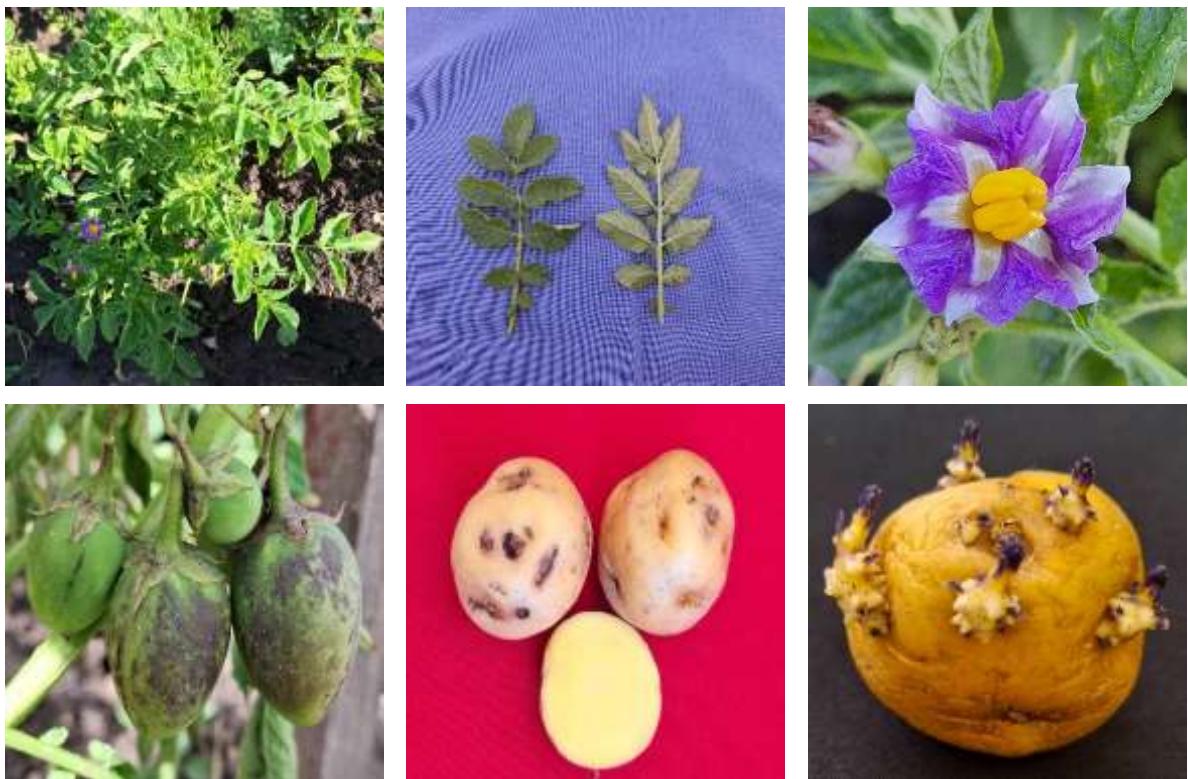
Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa de color amarilla.

Brote: Morado y blanco, localizado en la base.

Ciclo vegetativo: 108 días.

2. Ch. Amarilla Antigua



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, dos pares de interhojuelas ubicadas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas en los peciolulos.

Floración: Escasa.

Flor: Corola semiestrellada, con tonalidad predominante morada y presencia de color blanco en el acumen de haz y envés.

Baya: Verde con áreas pigmentadas y forma cónica.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa de color amarillo claro.

Brote: Violeta con blanco, distribuido con pocas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 105 días.

3. Ch. Amarilla Común



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal rojo-morado y color secundario blanco, distribuido en el acumen de haz y envés.

Baya: Verde con escasa presencia de puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Comprimido, con ojos de profundidad media, piel color amarilla y pulpa de color amarillo intenso.

Brote: Rosado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 109 días.

4. Ch. Amarilla Grande



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, con coloración predominante morado y color secundario blanco, localizado en el acumen de haz y envés.

Baya: Verde con abundantes puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa de color amarillo.

Brote: Morado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 106 días.

5. Ch. Amarilla Larga



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Semierecta, tallo verde y alas rectas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal rojo – morado y ausencia de color secundario.

Baya: Verde con áreas pigmentadas y forma ovoide.

Tubérculo: Obovado, ojos de profundidad superficial, piel amarilla y pulpa de color amarillo claro.

Brote: Morado con blanco, distribuido con muchas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 99 días.

6. Ch. Amarilla Redonda



Ploidía: Tetraploide ($2n=4x=48$)

Planta: Decumbente, tallo verde y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Escasa

Flor: Corola rotada, color principal morado y color secundario blanco, distribuido en el acumen de haz y envés.

Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Comprimido, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa de color amarillo intenso.

Brote: Rosado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 108 días.

7. Ch. Blanca



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde y alas onduladas.

Hoja: Seis pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal violeta y color secundario blanco, distribuido en el acumen de haz y envés.

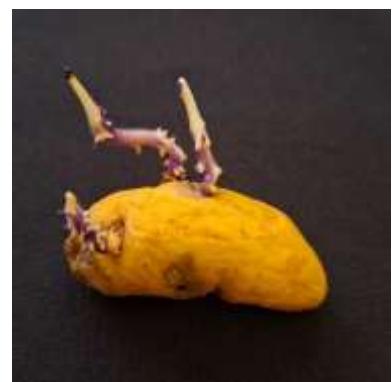
Baya: Verde con abundantes puntos blancos y forma periforme.

Tubérculo: Comprimido, ojos de profundidad media, color principal de piel amarilla y color secundario negruzco, distribuido como anteojos y pulpa blanca.

Brote: Violeta con blanco, distribuido en el ápice.

Ciclo vegetativo: 110 días.

8. Ch. Bola de Cuy



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola muy rotada, color principal celeste pálido.

Baya: No hubo presencia.

Tubérculo: Ovalado, ojos de profundidad superficial, color principal de piel amarilla pálida y color secundario morado, distribuido en los ojos y pulpa blanca.

Brote: Violeta con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 107 días.

9. Ch. Chachapoyana-3



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Semi-erecta, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Escasa.

Flor: Corola rotada, color principal blanco intenso.

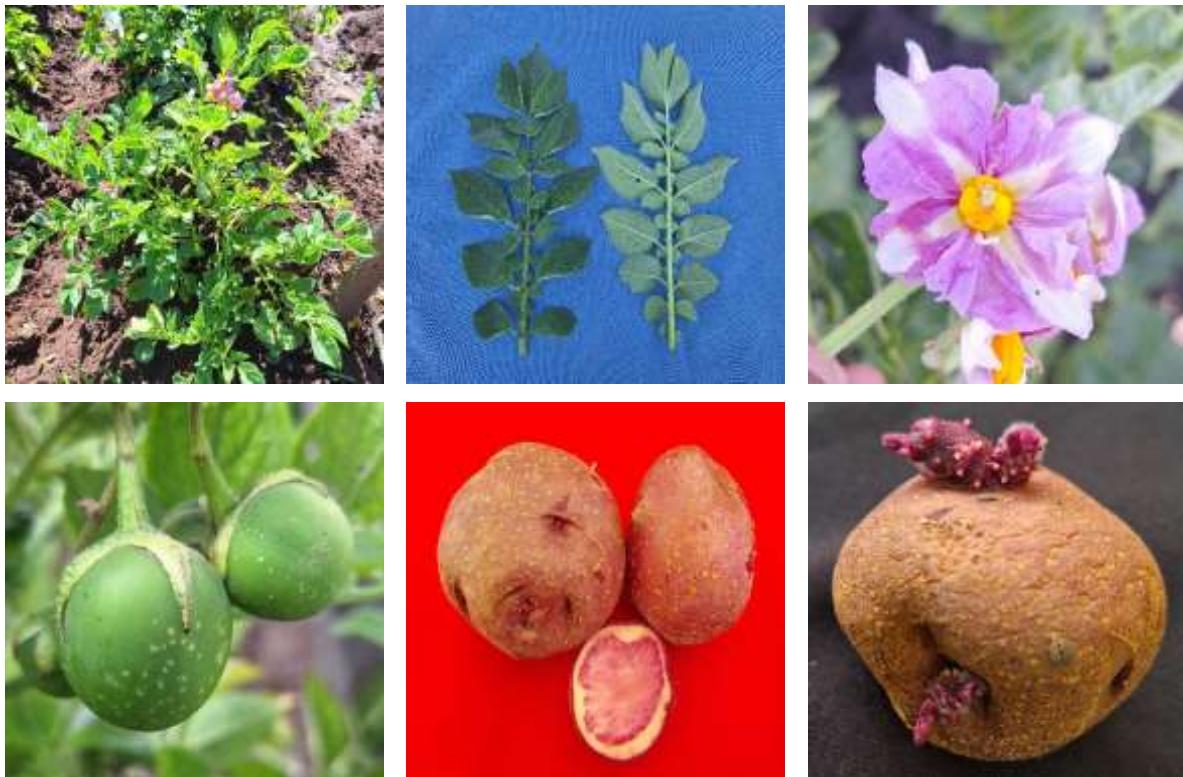
Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Obovado, ojos de profundidad media, color principal de piel amarilla pálida y color secundario morado, distribuido en los ojos.

Brote: Violeta con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 100 días.

10. Ch. Chilopa



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo pigmentado con abundante verde y alas rectas.

Hoja: Seis pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal lila y color secundario blanco, distribuido en el acumen de haz y envés.

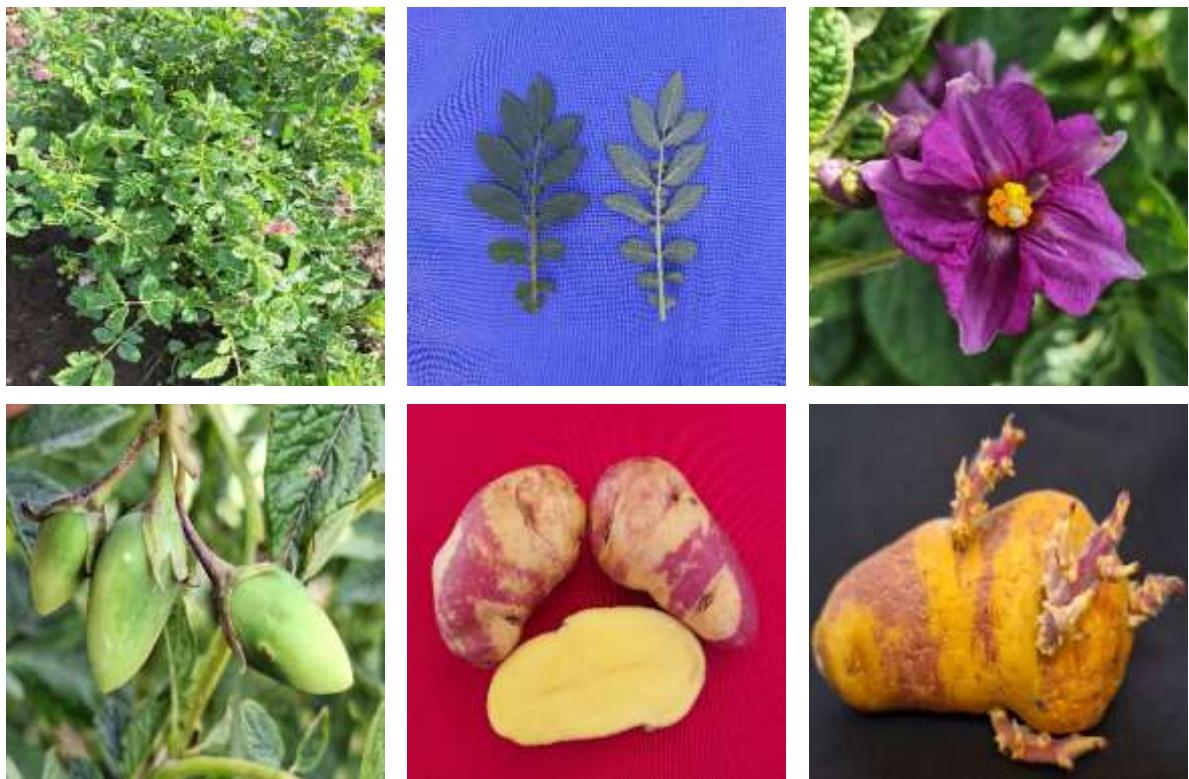
Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, color de piel rojo y color principal de pulpa roja y color secundario crema, distribuido en el anillo vascular y médula.

Brote: Rojo con blanco, distribuido en las yemas.

Ciclo vegetativo: 106

11. Ch. Clavelina



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Profusa.

Flor: Corola rotada, color principal morado intenso.

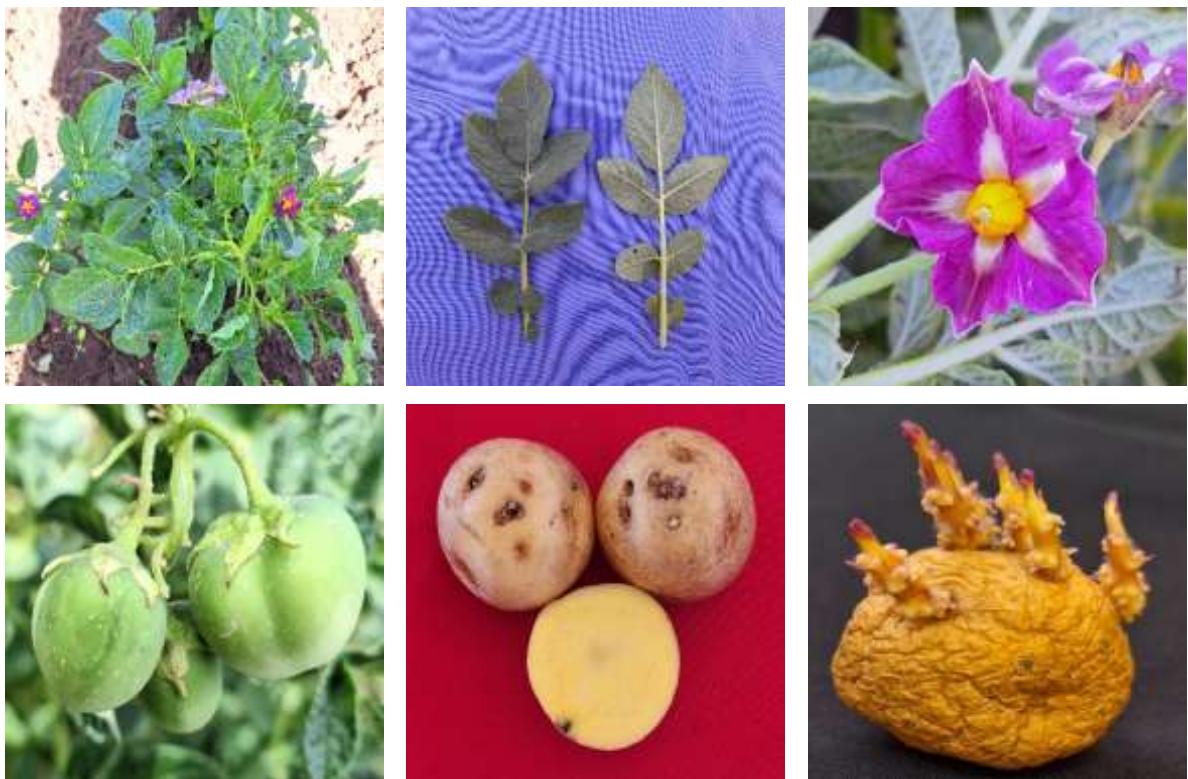
Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma cónica alargada.

Tubérculo: Oblongo-alargado, ojos de profundidad media, color principal de piel amarillo y color secundario rojo-morado, distribuido en manchas dispersas.

Brote: Rojo con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 94 días.

12. Ch. Ecuatoriana



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Tres pares de foliolos, ausencia de interhojuelas entre foliolos laterales y interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal morado y color secundario blanco, distribuido en acumen de envés.

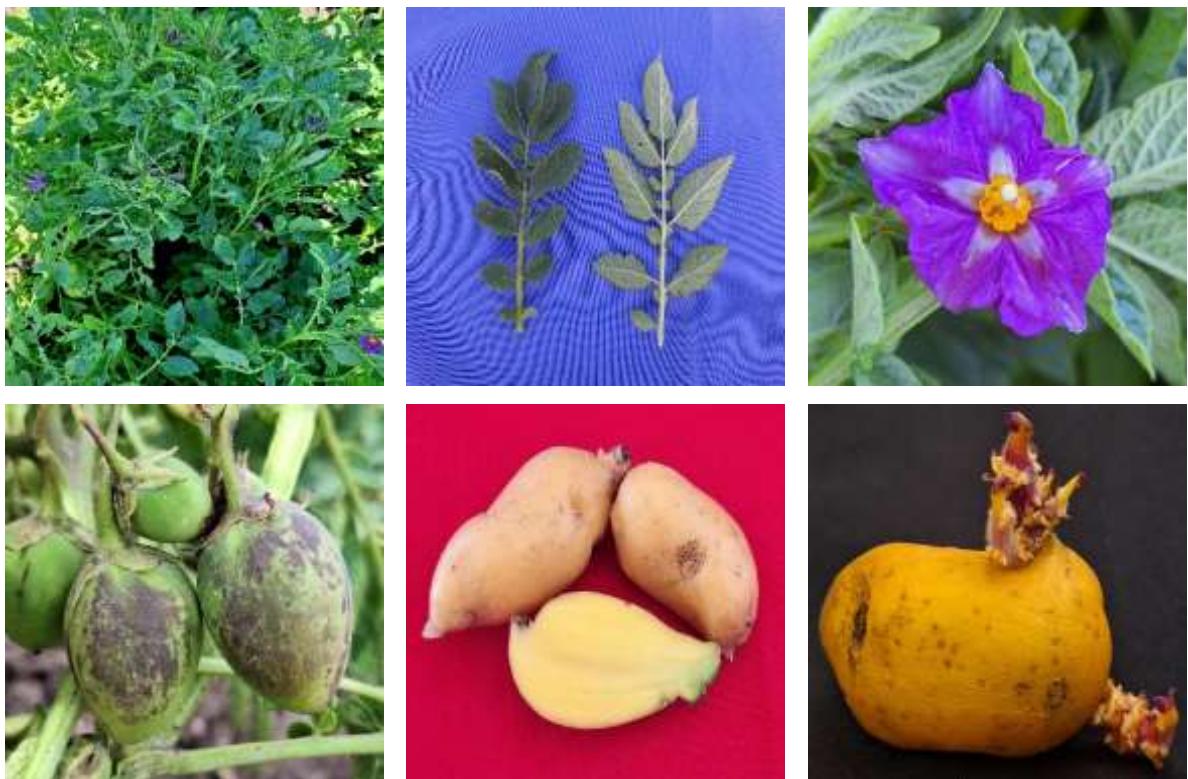
Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma periforme.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa amarilla clara.

Brote: Morado con blanco, distribuido con pocas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 98 días.

13. Ch. Huamantanga



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y tres pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Profusa.

Flor: Corola rotada, color principal violeta y color secundario blanco, distribuido en acumen de envés.

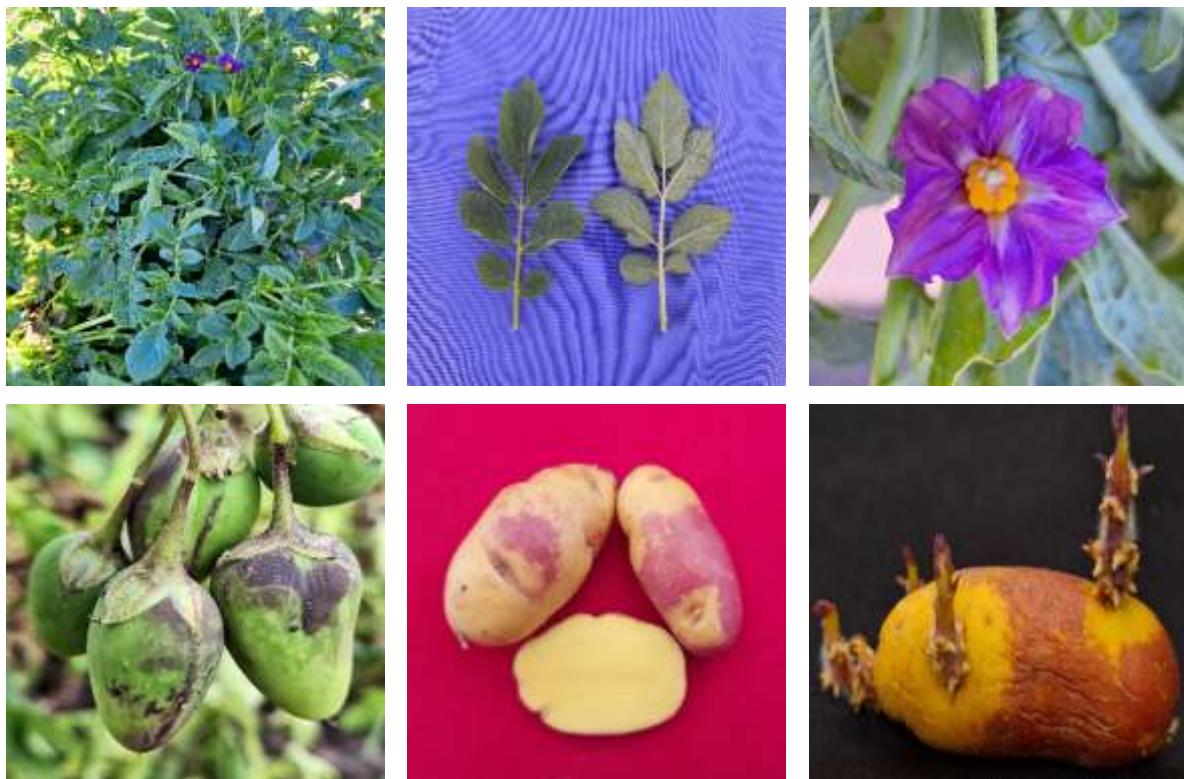
Baya: Verde con áreas pigmentadas y forma cónica.

Tubérculo: Oblongo-alargado, ojos de profundidad superficial, piel amarilla y pulpa amarilla.

Brote: Morado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 105 días.

14. Ch. Huevo



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Semi-erecta, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, un par de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Escasa.

Flor: Corola rotada, color principal violeta y color secundario blanco, distribuido en el acumen de envés.

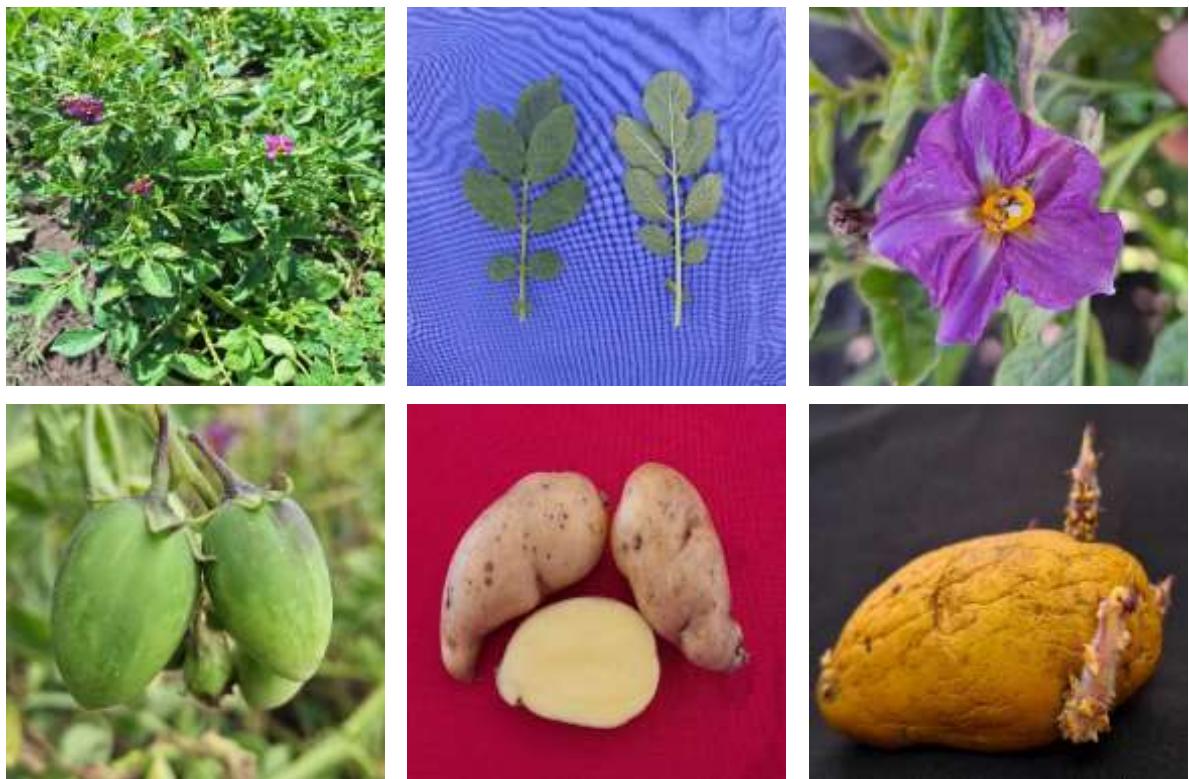
Baya: Verde con bandas pigmentadas y forma cónica.

Tubérculo: Oblongo-alargado, ojos de profundidad superficial, color principal de piel amarillo y color secundario rojo-morado, distribuido en manchas dispersas y pulpa amarilla.

Brote: Morado con blanco, distribuido en las yemas

Ciclo vegetativo: 94 días.

15. Ch. Larga



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y un par de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal morado y ausencia de color secundario.

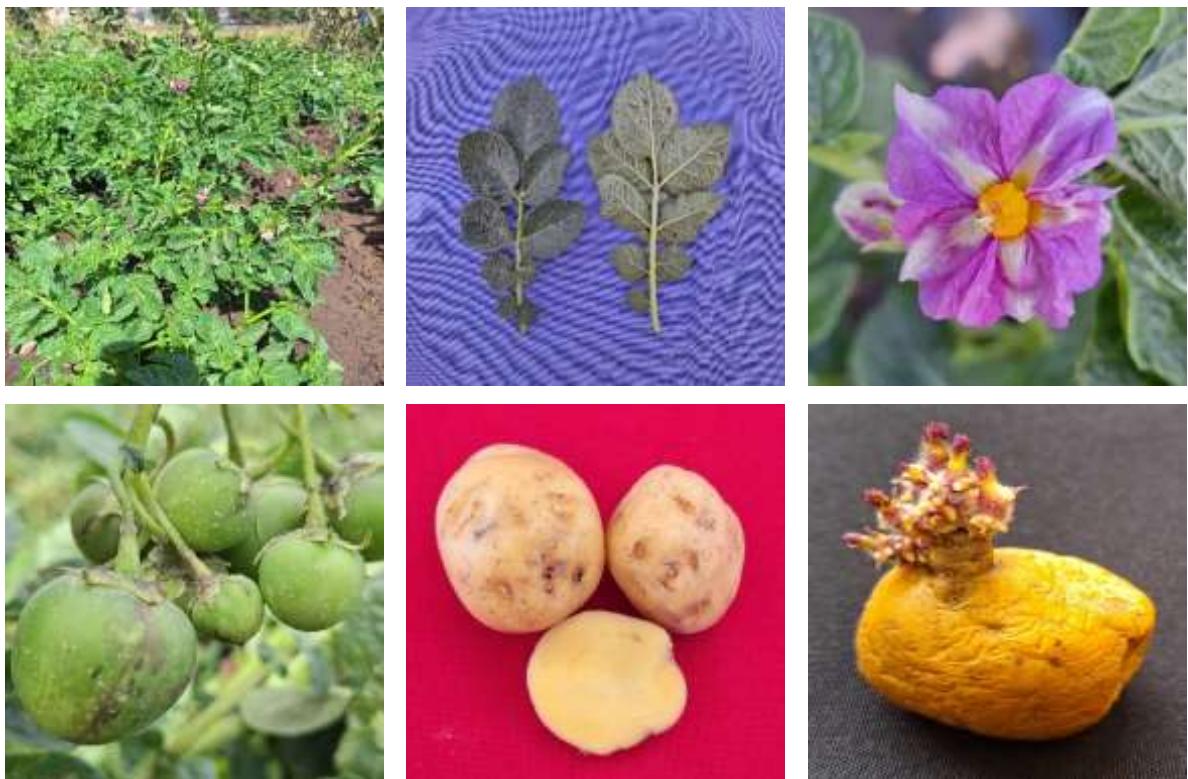
Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma ovoide con mucrón terminal.

Tubérculo: Obovado, ojos de profundidad superficial, piel amarilla y pulpa amarilla clara.

Brote: Morado con blanco, distribuido en pocas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 99 días.

16. Ch. Limeña Blanca



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal lila y color secunario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

Baya: Verde con abundantes puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa amarilla clara.

Brote: Morado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 90 días.

17. Ch. Machala-1



Ploidía: Tetraploide ($2n=4x=48$)

Planta: Semi-erecta, tallo pigmentado con poco verde y alas rectas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal violeta y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

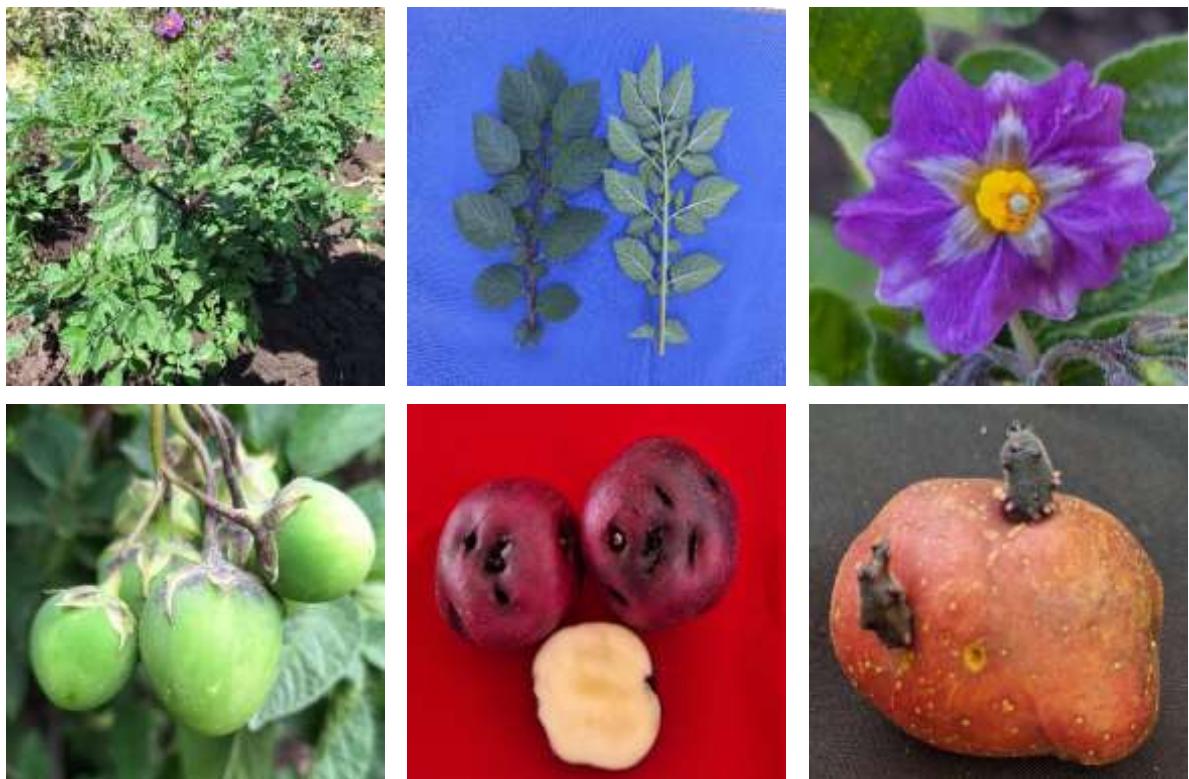
Baya: Verde y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel rojo- morado intenso y pulpa crema.

Brote: Violeta.

Ciclo vegetativo: 116 días.

18. Ch. Machala-2



Ploidía: Tetraploide ($2n=4x=48$)

Planta: Semi-erecta, tallo morado y alas rectas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal violeta y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

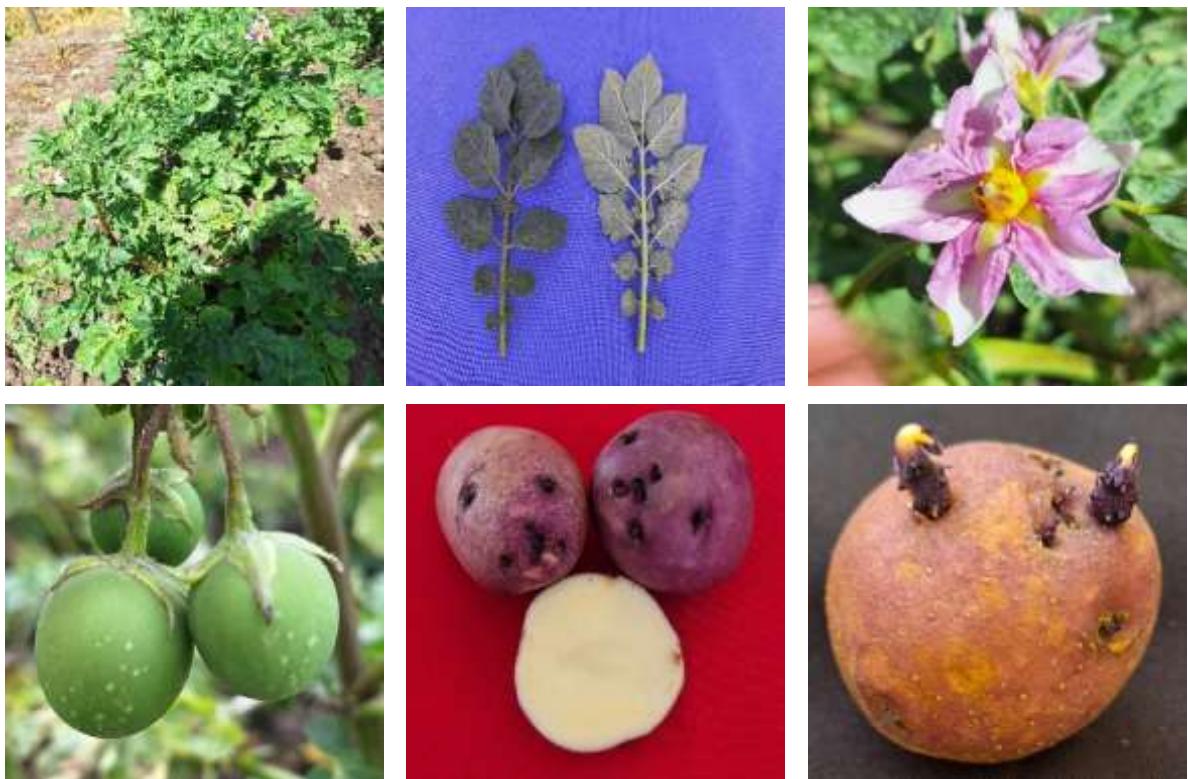
Baya: Verde y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, piel rojo- morado intenso y pulpa crema.

Brote: Violeta.

Ciclo vegetativo: 116 días.

19. Ch. Montañera



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Decumbente, tallo pigmentado con abundante verde y alas rectas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal lila y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

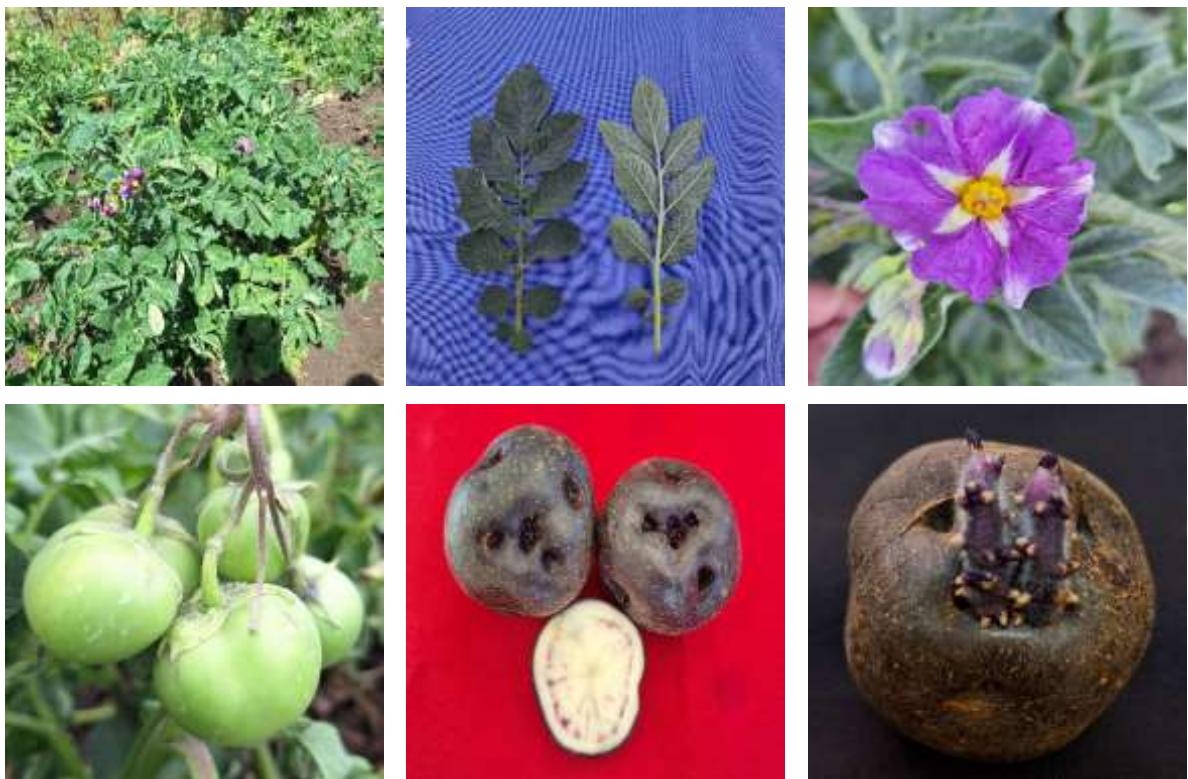
Baya: Verde con pocas manchas y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad media, color principal de piel morado y color secundario marrón, distribuido en manchas dispersas y pulpa blanca.

Brote: Violeta con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 118 días.

20. Ch. Negra-1



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con muchas manchas y alas rectas.

Hoja: Seis pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal morado intenso y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Comprimido, ojos profundos, piel negruzca y color principal de pulpa crema y color secundario violeta, distribuido en pocas manchas.

Brote: Violeta con blanco, distribuido en pocas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 110 días.

21. Ch. Negra-2



Ploidía: Tetraploide ($2n=4x=48$)

Planta: Decumbente, tallo verde y alas onduladas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y cuatro pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal violeta y color secundario blanco, distribuido en el acumen de envés.

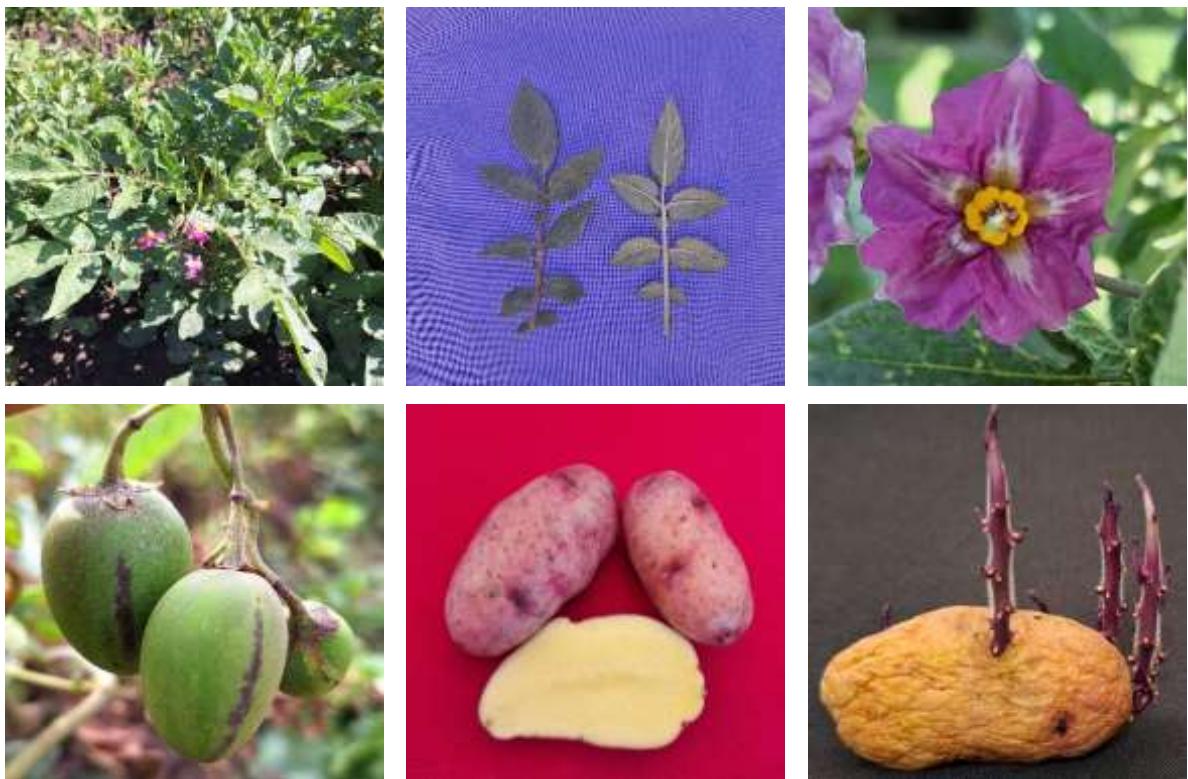
Baya: Verde con abundantes puntos blancos y forma globosa.

Tubérculo: Comprimido, ojos de profundidad media, color principal de piel negruzco y color secundario blanco-crema, distribuido en manchas dispersas y pulpa blanca.

Brote: Violeta con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 108 días.

22. Ch. Pabla



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo pigmentado con poco verde y alas ausentes.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color rojo-morado.

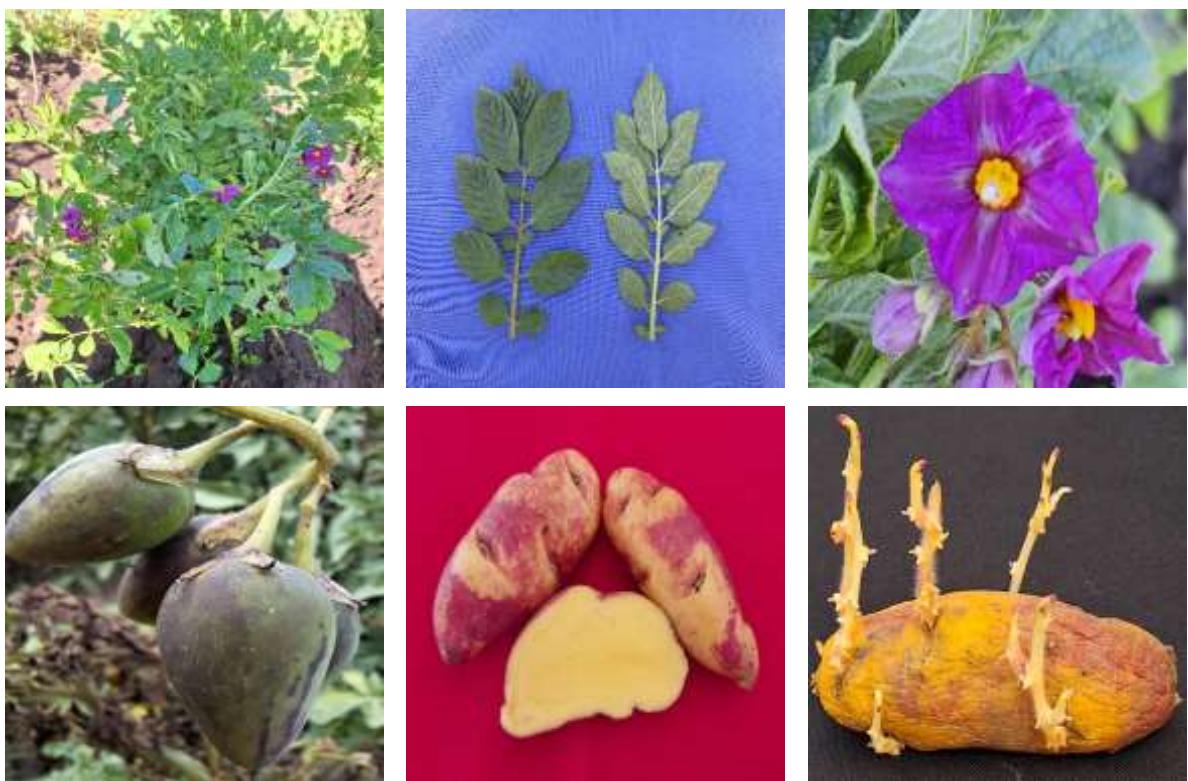
Baya: Verde con bandas pigmentadas y forma ovoide.

Tubérculo: Elíptico, ojos de profundidad superficial, piel rosada y pulpa amarilla clara.

Brote: Violeta con rosado, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 105 días.

23. Ch. Pañuelita-1



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Decumbente, tallo verde y alas onduladas.

Hoja: Tres pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Escasa.

Flor: Corola rotada, color morado.

Baya: Predominantemente pigmentado y forma cónica.

Tubérculo: Elíptico, ojos de profundidad media, color principal de piel amarillo y color secundario rojo-morado, distribuido en manchas dispersas y pulpa amarilla.

Brote: Rosado con blanco, distribuido en pocas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 97 días.

24. Ch. Pañuelita-2



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Semi-erecta, tallo verde y alas rectas.

Hoja: Tres pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y tres pares de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal lila y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

Baya: Verde y forma globosa.

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad superficial, color principal de piel amarilla y color secundario rojo, distribuido en manchas dispersas.

Brote: Morado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 118 días.

25. Ch. Pimpinela



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo pigmentado con abundante verde y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, tres pares de interhojuelas entre foliolos laterales y un par de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color blanco intenso.

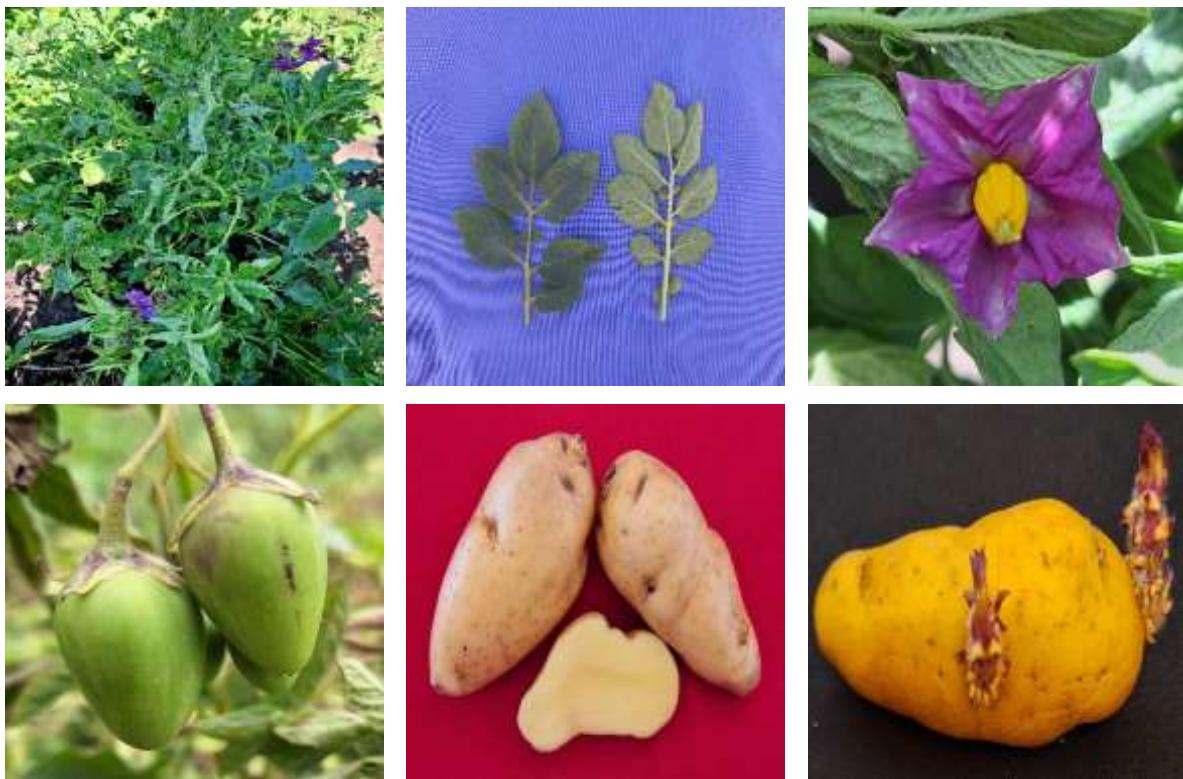
Baya: Verde con áreas pigmentadas y forma globosa.

Tubérculo: Comprimido, ojos profundos y piel roja, color principal de pulpa crema y color secundario rojo, distribuido en anillo vascular ancho.

Brote: Rojo con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 106 días.

26. Ch. Poroporo



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas onduladas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y un par de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color morado intenso.

Baya: Verde con bandas pigmentadas y forma cónica.

Tubérculo: Obovado, ojos de profundidad superficial, piel amarilla y pulpa amarilla clara.

Brote: Rojo con blanco, distribuido en las yemas.

Ciclo vegetativo: 98 días.

27. Ch. Runga



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Semi-erecta, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal lila y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma ovoide.

Tubérculo: Comprimido, ojos de profundidad media, piel amarilla y pulpa amarilla clara.

Brote: Morado con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 110 días.

28. Ch. S/N



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cuatro pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color rojo-morado.

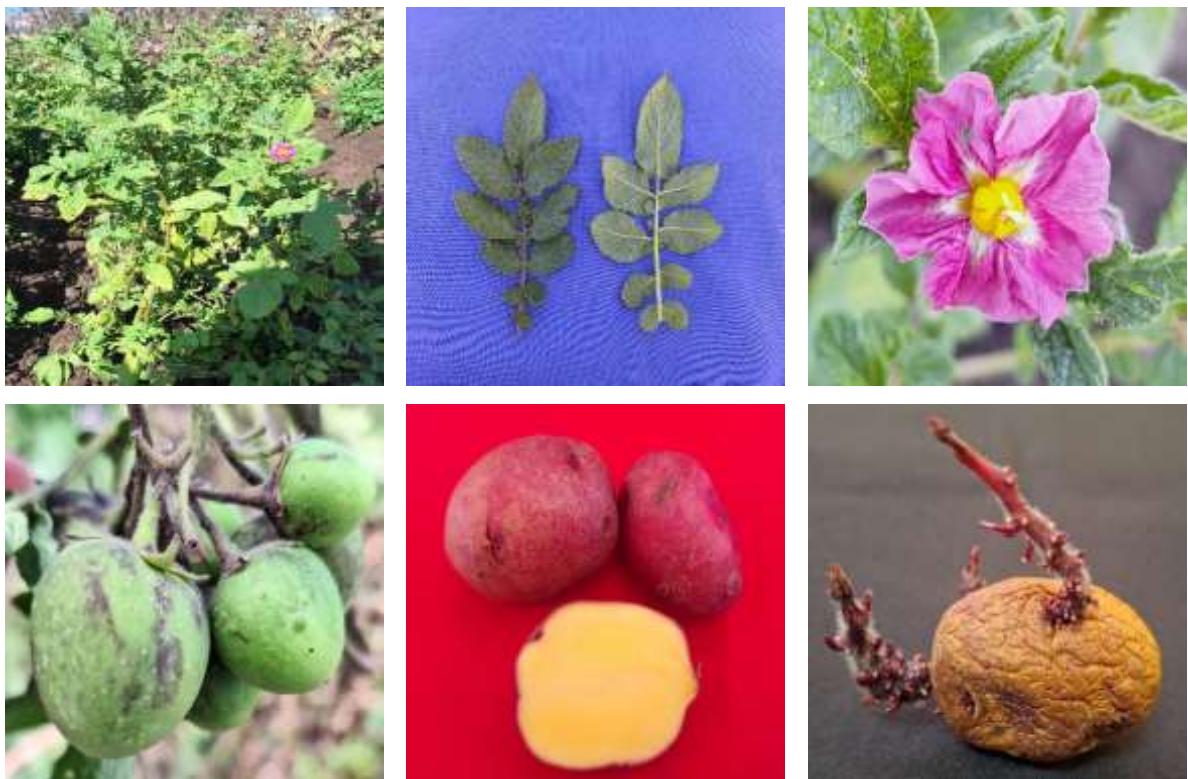
Baya: Verde con áreas pigmentadas y forma globosa.

Tubérculo: Comprimido, ojos de profundos, color principal de piel amarilla y color secundario rojo, distribuido en las cejas.

Brote: Rojo con blanco, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 92 días.

29. Ch. Shoga Roja



Ploidía: Diploide ($2n=2x=24$)

Planta: Decumbente, tallo verde con muchas manchas y alas rectas.

Hoja: Tres pares de foliolos, cuatro pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Escasa.

Flor: Corola rotada, color rojo-rosado.

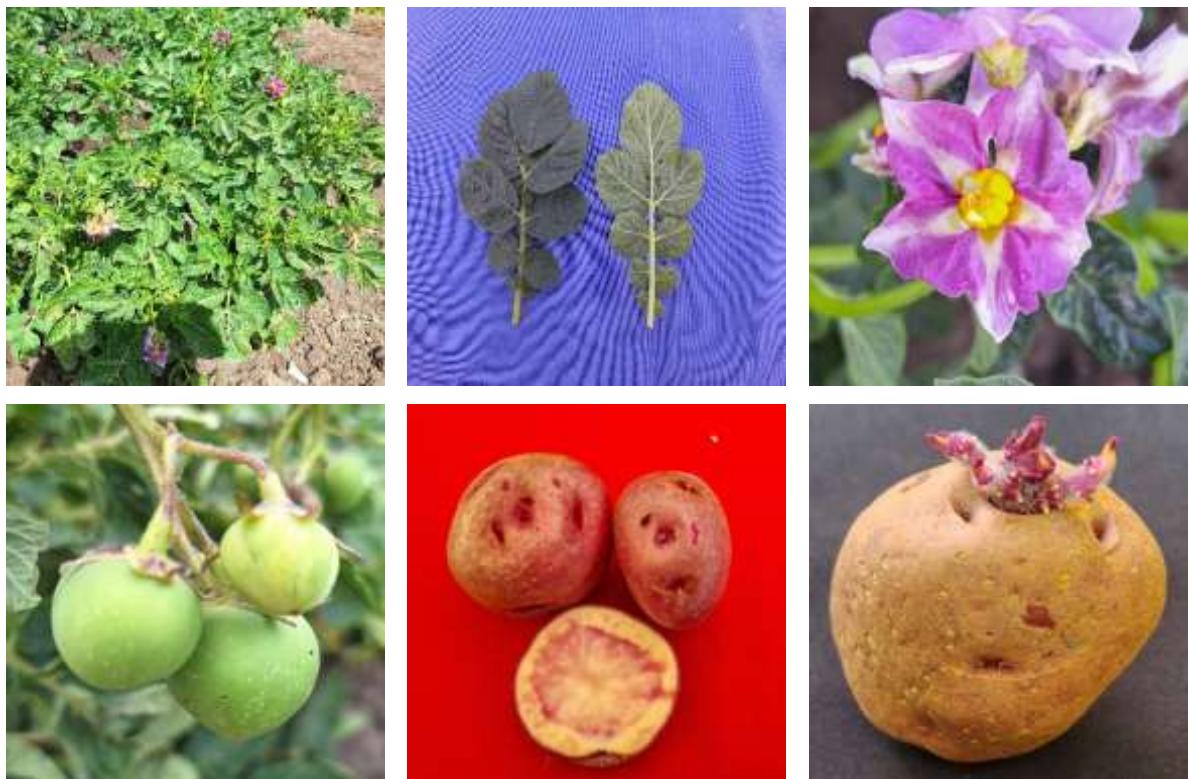
Baya: Verde con áreas pigmentadas y forma globosa

Tubérculo: Redondo, ojos de profundidad superficial, piel roja.

Brote: Morado con rojo, distribuido con muchas manchas a lo largo.

Ciclo vegetativo: 114 días.

30. Ch. Tulpuna



Ploidía: Triploide ($2n=3x=36$)

Planta: Decumbente, tallo verde con pocas manchas y alas rectas.

Hoja: Cinco pares de foliolos, dos pares de interhojuelas entre foliolos laterales y ausencia de interhojuelas sobre peciolulos.

Floración: Moderada.

Flor: Corola rotada, color principal morada y color secundario blanco, distribuido en acumen de haz y envés.

Baya: Verde con pocos puntos blancos y forma ovoide.

Tubérculo: Comprimido, ojos de profundidad media, piel roja y color principal de pulpa crema y color secundario rojo, distribuido en anillo vascular ancho.

Brote: Morado con rojo, distribuido en la base.

Ciclo vegetativo: 116 días.

En el presente estudio predominó el hábito de crecimiento decumbente 77%, seguido por el semi-erecto 23%. Por ejemplo, Amarilla Larga, Chachapoyana-3 mostraron crecimiento semi-erecto. Este patrón coincide con lo reportado por Latorre - Vásquez et al. (2021) donde se observó mayor frecuencia de plantas decumbentes. De manera similar, Tapia-Vásquez (2017) identificó únicamente dos tipos de crecimiento, semi-erecto y decumbente en su colección evaluada La pigmentación del tallo fue variable: el 57% presentó tallos verdes con pocas manchas, mientras que un 20% mostró tallos verdes y 23% otros. En las hojas, la mayoría de los cultivares 53%, presentó entre tres y cuatro, 47% entre cinco y seis pares de foliolos.

La floración fue generalmente moderada en un 73% de los cultivares, escasa en 20% y profusa en 7%. por ejemplo, Clavelina y Huamantanga presentaron floración difusa. Este patrón coincide con lo reportado por Moreno et al. (2011) quienes observaron que el 45 % de las variedades presentaron floración moderada, 22 % escasa y solo 3 % profusa, indicando que la floración de intensidad media es una característica común en poblaciones de papa nativa y del grupo *Phureja* tanto en Perú como en Colombia. En cuanto a la corola, el tipo rotado predominó en el 93% de los casos, con colores principales morados, violetas, celeste, blancos, lilas o rojos-morados, rojo-rosado y secundarios blancos distribuidos en acumen y envés. De forma similar, Moreno et al. (2011) encontraron que el 33 % de las variedades presentaron flores de color morado intermedio, 15 % rojo rosado intermedio, 12 % rojo morado intermedio y 10 % morado oscuro, mientras que colores como morado pálido, blanco y lila intermedio alcanzaron frecuencias del 5 %.

Respecto a las bayas, la mayoría de los cultivares 60% presentó color verde con pocos, abundantes o ningún punto blanco, generalmente globosas 53%, cónicas 20%, ovoides 17% y 10% otros. Estos resultados coinciden parcialmente con Moreno et al. (2011) encontraron que el 46% presentaron bayas de color verde con áreas pigmentadas, forma de baya globosa 88.7% y 11.3% forma ovoide.

Los tubérculos fueron mayoritariamente redondos 37%, comprimidos 30%, obovados 13% y 20% otros, con ojos de profundidad media 60%, ojos de profundidad superficial 30% y 10% otros. Piel amarilla predominante 67%, mientras que un menor porcentaje presentó piel roja o roja-morada 20% y 13% otros como Montañera, Negra-1. Estos hallazgos muestran concordancia parcial con los reportados por Moreno et al. (2011) mostró predominancia de los tipos comprimidos 37.5% y redondos 25 %, mientras que las formas ovaladas y elípticas fueron menos frecuentes, con 10.7% y 7.1%, respectivamente. De manera similar Latorre - Vásquez et al. (2021) encontraron genotipos comprimidos/redondos 40%, oblongos/alargados 38.33% y elípticos 21.67%, con ojos profundos 43.33% y 41.67% ojos superficiales.

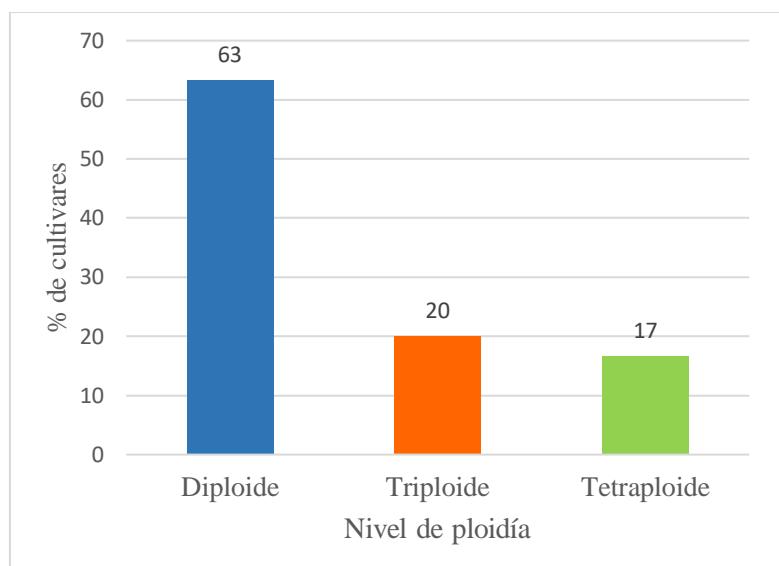
Finalmente, los brotes mostraron color morado con blanco o violeta con blanco en la mayoría de los cultivares 57%, distribuidos generalmente en la base o en pocas manchas a lo largo. El ciclo vegetativo promedio osciló entre 90 y 118 días, siendo 105-110 días lo más frecuente 47%. De modo similar, Tapia – Vásquez (2017) reportó que el ciclo vegetativo osciló entre los 90 a 119 días.

4.1.2 Plloidía de las 30 accesiones, basada en el conteo de cloroplastos de células guarda

En el análisis de los cultivares, se identificó tres niveles de plloidía: diploide ($2n=2x=24$), triploide ($2n=3x=36$) y tetraploide ($2n=4x=48$). La mayoría de los cultivares evaluados fueron diploides, representando el 63% del total (19 cultivares), seguidos por los triploides con un 20% (6 cultivares) y los tetraploides con un 17% (5 cultivares). Esta distribución sugiere una predominancia de genotipos diploides en la región, lo cual puede estar relacionado con factores ecológicos, históricos o de selección local. La Figura 9 muestra esta distribución mediante una gráfica de barras que permite visualizar claramente la frecuencia de cada nivel de plloidía. Para mayor detalle sobre los cultivares evaluados y sus respectivos promedios, se remite al (Anexo 5).

Figura 9

Distribución de porcentajes en niveles de ploidía.



Los cultivares en estudio presentaron una predominancia de genotipos diploides 63%, seguidos por triploides 20 % y tetraploides 17%, lo que coincide parcialmente con lo reportado por Sánchez (2017) que mediante conteo de cloroplastos en células guarda y recuento cromosómico, identificó en accesiones del grupo *Andigenum* valores promedio de 7-8 cloroplastos para diploides y 12-14 para tetraploides, confirmando la utilidad del método para diferenciar estos niveles de ploidía.

De manera similar, Pizarro (2019) reportó en cultivares de papa nativa promedios de 8 ± 0.97 cloroplastos para diploides, 11 ± 1.37 para triploides y 13 ± 1.2 para tetraploides, con una frecuencia mayoritaria de diploides 88.7% y mínima de tetraploides 1.3 %, lo que, comparado con nuestros resultados, evidencia variaciones regionales en la proporción de poliploidía.

Asimismo, Manrique-Carpintero et al. (2023) encontraron, en un conjunto de referencia de 112 accesiones, que el recuento cromosómico considerado el método preciso, identificó 83 diploides, 27 tetraploides y 2 triploides, resultados que coincidieron con promedios de 7.6 ± 0.83 cloroplastos por célula oclusiva en diploides y 13.2 ± 1.06 en tetraploides.

En conjunto, los resultados de este estudio y las investigaciones previas confirman que el conteo de cloroplastos en células guarda es una herramienta práctica, confiable y económica para estimar niveles de ploidía en cultivares de papa. A pesar de ciertas limitaciones relacionadas con la variabilidad intraespecífica y las condiciones ambientales, este método muestra una alta concordancia con los análisis cromosómicos, lo que respalda su uso como técnica de primera aproximación. Por ello, resulta especialmente útil para evaluaciones masivas de colecciones de germoplasma y en programas de mejoramiento genético donde se requiere una estimación rápida del nivel de ploidía.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La caracterización morfológica de los 30 cultivares de papa grupo *Phureja* de la Región Cajamarca evidenció una alta variabilidad morfológica, reflejada en atributos como forma, color y textura del tubérculo, así como en rasgos florales. Esta diversidad morfológica refleja un proceso evolutivo local impulsado tanto por la selección natural como por la selección empírica campesina, lo que confirma la vigencia del sistema tradicional de manejo *in situ*.

El análisis citogenético mediante el conteo de cloroplastos en células guarda estomáticas permitió determinar que la mayoría de las accesiones evaluadas presentan condición diploide, aunque también se identificaron casos de triploidía y tetraploidía. Esta variabilidad en los niveles de ploidía amplía las posibilidades de cruzamientos y aprovechamiento genético.

Los análisis multivariados revelaron agrupamientos morfológicos que guardan relación con las zonas de colecta y los grados de similitud, lo que sugiere una influencia de las condiciones agroecológicas locales en la expresión fenotípica de los cultivares.

La caracterización morfológica y citogenética permitió identificar duplicados, establecer patrones de diversidad y reconocer genotipos únicos, lo cual resulta fundamental para la conservación, clasificación y uso sostenible del germoplasma de papa grupo *Phureja* en la región.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda fortalecer las estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* de los cultivares del grupo *Phureja*, priorizando aquellos morfotipos únicos y con atributos agronómicos destacados, a fin de preservar la diversidad genética local.

Es necesario complementar los estudios morfológicos con análisis moleculares (marcadores SSR, SNP, entre otros), que permitan una evaluación más precisa de la diversidad genética.

Se sugiere socializar los resultados obtenidos con agricultores conservacionistas, técnicos locales y entidades vinculadas al desarrollo agrario, con el propósito de fomentar el reconocimiento, valorización y uso de la diversidad de papa nativa.

Promover proyectos de investigación participativa entre la Universidad Nacional de Cajamarca y comunidades altoandinas que valoricen el conocimiento local, integrando prácticas tradicionales de selección de “chauchas” con metodologías científicas modernas, asegurando así la continuidad cultural y genética del grupo *Phureja* en Cajamarca.

Finalmente, se recomienda realizar nuevas colectas periódicas en la región para incorporar genotipos emergentes y evitar la pérdida de diversidad genética, asegurando así la sostenibilidad del cultivo en el tiempo.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aksoy, E., Demirel, U., Bakhsh, A., Zia, M. A. B., Naeem, M., Saeed, F., Çalışkan, S., & Çalışkan, M. E. (2021). Recent advances in popato (*Solanum tuberosum* L.) Breeding. In J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Advances in plant breeding strategies: vegetable crops* (8). https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2_10
- Andrade-Díaz, D. (2024). Morpho-physiological characterization of potato (*Solanum tuberosum*) genotypes of the *Andigenum* and *Phureja* group from the working collection of the Universidad de Nariño. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*, 3(5), 404–419. <https://doi.org/10.55677/ijlsar/V03I5Y2024-09>
- Arias, E. L. Z., Inga Ortíz, J. H., Marmolejo Gutarra, K. J., Álvarez Rodríguez, F. J., Paitan Gilian, R. K., Rixi Vilca, G. H., Becerra Pozo, D. A., Neyra Valdez, E. L., Zevallos Arias, E. L., Inga Ortíz, J. H., Marmolejo Gutarra, K. J., Álvarez Rodríguez, F. J., Paitan Gilian, R. K., Rixi Vilca, G. H., Becerra Pozo, D. A., & Neyra Valdez, E. L. (2023). Diversidad fenotípica y genética de papas nativas (*Solanum* spp.) de los Andes Centrales de Perú. *Acta Agronómica*, 72(1), 88–96. <https://doi.org/10.15446/ACAG.V72N1.102549>
- Chepkoech, E., Kinyua, M. G., Kiplagat, O., Ochuodho, J., Bado, S., Kinyua, Z., Kimno, S., & Chelulei, M. (2019). Assessment of the ploidy level diversity by chloroplast counts in stomatal guard cells of potato (*Solanum tuberosum* L.) mutants. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 1–7. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2019/v4i330076>
- CIP. (2018). *Papas silvestres. Salvaguardan la agrobiodiversidad del Perú para las futuras generaciones.* <https://cipotato.org/annualreport2018/es/stories/papas-silvestres/>
- CIP. (2023). *Datos y cifras sobre la papa - Centro Internacional de la Papa.* <https://cipotato.org/potato/potato-facts-and-figures/>

Coca-Morante, M., Tolín-Tordoya, I., Coca-Morante, M., & Tolín-Tordoya, I. (2013). The potato late blight caused by *Phytophthora infestans* mont de bary as selection factor of phurejas potatoes (*Solanum phureja* Juz et Buk) in endemic areas of the Bolivian Andes. *American Journal of Plant Sciences*, 4(1), 53–58.
<https://doi.org/10.4236/AJPS.2013.41009>

Cuesta, X., Andrade, H., Bastidas, O., Quevedo, R., & Sherwood, S. (2002). *Botánica y mejoramiento genético. El cultivo de la papa en Ecuador* (M. Pumisacho & S. Sherwood, Eds.; pp. 33–42). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y Centro Internacional de la Papa (CIP).

Donato, F. Di, Cecco, V. Di, Torricelli, R., Antonio D'Archivio, A., Santo, M. Di, Albertini, E., Veronesi, F., Garramone, R., Aversano, R., Marcantonio, G., & Martino, L. Di. (2020). Discrimination of potato (*Solanum tuberosum* L.) accessions collected in majella national park (Abruzzo, Italy) using mid-infrared spectroscopy and chemometrics combined with morphological and molecular analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(5).
<https://doi.org/10.3390/app10051630>

Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster analysis* (David J. Balding, Noel A.C. Cressie, Garrett M. Fitzmaurice, Harvey Goldstein, Geert Molenberghs, David W. Scott, Adrian F.M. Smith, Ruey S. Tsay, & Sanford Weisberg, Eds.; 5th Edition).

FAO. (2024a). *Día Internacional de la Papa. Cosechar la diversidad, alimentar la esperanza.*
www.fao.org/international-potato-day

FAO. (2024b). *FAO: cifras actualizadas del cultivo de papa en el mundo / PotatoPro.*
<https://www.potatopro.com/es/news/2024/fao-cifras-actualizadas-del-cultivo-de-papa-en-el-mundo>

Franco, T. L., & Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. In *Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)* (Alberto Ramírez P., Issue 8). Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans, R. J., & Spooner, D. M. (2006). Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. phureja group using RAPDs and nuclear SSRs. *Theoretical and Applied Genetics*, 113(8), 1515–1527.
<https://doi.org/10.1007/s00122-006-0399-7>

Gómez, R. (2006). *Guía para las caracterizaciones morfológicas básicas en colecciones de papas nativas. Ministerio de Agricultura - Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Manual para la caracterización de cultivos nativos. Conceptos y procedimientos.* Lima, Perú. Pp 26-50.

Greenacre, M. (2007). Correspondence analysis in practice (2th Edition). *Taylor & Francis Group.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781420011234>

Huamán, Z. (2008). *Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.)*

Huamán, Z., & Spooner, D. M. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. Petota). *American Journal of Botany*, 89(6), 947–965.
<https://doi.org/10.3732/ajb.89.6.947>

Husson, F., Lê, S., & Pagès, J. (2017). *Exploratory multivariate analysis by example using R* (D. Blei, D. Madigan, M. Meila, & F. Murtagh, Eds.; 2th Edition).

Ignacio - Cárdenas, S., Gonzales - Pariona, F. J., & Jacobo - Salinas, S. S. (2022). Caracterización morfológica de papas nativas (*Solanum tuberosum* L. grupo *Andigenum*)

de Huánuco. *Revista Investigación Agraria*, 4(2), 13–25.

<https://doi.org/10.47840/reina.4.2.1394>

Kassambara, A., & Mundt, F. (2020, April 1). Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. *Comprehensive R Archive Network (CRAN)*.
<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.factoextra>

Latorre - Vásquez, L., Martín- Trejo, D., Valencia - Flórez, L., & Mejía - España, D. (2021). Caracterización morfológica de tubérculos de 60 genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja del departamento de Nariño. In T. C. Lagos - Burbano (Ed.), *Avances en el mejoramiento genético de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para el Sur de Colombia* (Universidad de Nariño, pp. 59–84).

Lázaro, A. J. P., Hernández Amasifuen, A. D., & Díaz Pillasca, H. B. (2021). Multiplication and reduction growth in vitro of potato chaucha (*Solanum tuberosum* L. Phureja group). *Manglar*, 18(2), 123–128. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2021.016>

Le Roux, B., & Rouanet, H. (2011). *Multiple correspondence analysis*. SAGE Publications.
<https://doi.org/10.4135/9781412993906>

Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18. <https://doi.org/10.18637/JSS.V025.I01>

Lee, K. J., Sebastin, R., Cho, G. T., Yoon, M., Lee, G. A., & Hyun, D. Y. (2021). Genetic diversity and population structure of potato germplasm in rda-genebank: utilization for breeding and conservation. *Plants*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/plants10040752>

Ligarreto, G. A., & Suárez, M. N. (2003). Evaluación del potencial de los recursos genéticos de papa criolla (*Solanum phureja*) por calidad industrial. *Agronomía Colombiana*, 21(2), 83–94.

Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K., Studer, M., Roudier, P., Gonzales, J., Kozlowski, K., Schubert, E., & Murphy, K. (2025). “*Finding groups in data*”: *cluster analysis extended rousseeuw et al.*” <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/cluster.pdf>

Manrique-Carpintero, N. C., Berdugo-Cely, J. A., Cerón-Souza, I., Lasso-Paredes, Z., Reyes-Herrera, P. H., & Yockteng, R. (2023). Defining a diverse core collection of the Colombian Central collection of potatoes: a tool to advance research and breeding. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1046400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1046400/bibtex>

MINAM. (2017). *Línea base de la diversidad genética de la papa peruana con fines de bioseguridad.*

https://bioseguridad.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2019/12/Linea_base_papa_bioseguridad_lowres.pdf

Moreno, J. D., Cerón, M. del S., & Valbuena, R. I. (2011). *Caracterización morfológica de germoplasma de papa nativa de Colombia morphological characterization of native potato germplasm of Colombia.* 3–17.

https://www.researchgate.net/publication/263349528_Caracterizacion_morfologica_de_germoplasma_de_papa_nativa_de_Colombia_Morphological_characterization_of_native_potato_germplasm_of_Colombia_Jose_Dilmer_Moreno_Maria_del_Socorro_Ceron_Raul_Ivan_Valbuen

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O’Hara R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., ...

Weedon, J. (2025). *Vegan: community ecology package*.

<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan>

Ordoñez, B. (2014). *Conteo de cloroplastos en las células guarda de los estomas. Centro Internacional de la Papa (CIP)*. Lima, Perú. Pp. 1-4.

Palaghianu, C. (2014). A tool for computing diversity and consideration on differences between diversity indices. *Journal of Landscape Management*, 5(2), 1–5.

Pandey, J., Gautam, S., Scheuring, D. C., Koym, J. W., & Vales, M. I. (2023). Variation and genetic basis of mineral content in potato tubers and prospects for genomic selection. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1301297>

Pareja, J. L. Z., Cerón Lasso, M. del S., Porras Rodríguez, P. D., & Herrera Heredia, C. A. (2022). Manejo integral del cultivo de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.). In *Papa nativa diploide: en busca de fortalecer el sistema productivo en Colombia* (pp. 87–121).

Perelman, S. B., & Puhl, L. E. (2023). Multivariate approach in botany and ecology. *Darwiniana*, 11(1), 272–294. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2023.111.1086>

Pizarro, A. O. (2019). *Determinación de ploidía por conteo de cromosomas y cloroplastos en cultivares de papa nativa (Solanum spp)*. INIA Ayacucho 2019. [Tesis de titulación, Facultas de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSC/4487>

Pulgarín, T. M. G., López Ortiz, J. B., Pineda Tuirán, R., Galindo López, F. L., Isaza Arango, R., & Morales Osorio, J. G. (2012). Caracterización citogenética de cinco genotipos de papa criolla, *Solanum phureja* (Juz. et Buk.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(1), 6379–6387.

Rachappanavar, V. (2023). Molecular systematics and its role in cultivated *Solanum* spp. evolution. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 70(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10722-022-01422-6>

Reddy, R., Soibam, H., Ayam, V. S., Panja, P., & Mitra, S. (2018). Morphological characterization of sweet potato cultivars during growth, development and harvesting. *Indian Journal of Agricultural Research*, 52(1), 46–50. <https://doi.org/10.18805/IJARe.A-4798>

Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9–17.

Rojas - Mercado, L. P., & Seminario Cunya, J. F. (2014). Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja) de la región Cajamarca. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 165–175. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2014.04.01>

Samiha, T. K., Rahman, M. A., Islam, S., Jalal, N., Islam, A., & Nahiyah, A. S. M. (2024). Exploring potato diversity: a comprehensive genetic and phenotypic analysis of quantitative and qualitative traits. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 60(3), 126–135. <https://doi.org/10.17221/10/2024-CJGPB>

Sánchez, M. A. (2017). Determinación de la ploidía en accesiones de papas nativas (*Solanum tuberosum* grupo *Andigenum*) procedentes del banco de germoplasma vegetal de CORPOICA. *Respuestas*, 22(2), 6–13. <https://doi.org/10.22463/0122820x.1166>

Seminario, J. F., Concha-Tupayachi, L. S., Seminario-Cunya, A., Medina-Hinostrosa, T., & Silva, W. (2025). Cultivar loss and conservation of genetic resources of the phureja potato (*Solanum phureja* L., Phureja group) in Peru. *Genetic Resources*, 6(12), 1–13. <https://doi.org/10.46265/genresj.JCDC4631>

Seminario, J., Tapia Vásquez, H. J., & Seminario C., A. (2019). *Los solanum del grupo Phureja de Cajamarca: avances* (Gráfica Bracamonte).

Seminario, J., & Zarpán, L. (2011). Conservación in situ on farm-ex situ de *Solanum tuberosum* L. grupo Phureja en la cuenca del Llaucano y áreas adyacentes. *Arnaldoa*, 18(2), 103–114.

Spooner, D. M., Ghislain, M., Simon, R., Jansky, S. H., & Gavrilenko, T. (2014). Systematics, diversity, genetics, and evolution of wild and cultivated potatoes. *Botanical Review*, 80(4), 283–383. <https://doi.org/10.1007/s12229-014-9146-y>

Spooner, D. M., & Hetterscheid, W. L. A. (2006). Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. *Chapter*, 13, 285–307. <https://doi.org/doi.org/10.7312/motl13316-014>

Spooner, D. M., Mclean, K., Ramsay, G., Waugh, R., & Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping (102). www.pnas.orgcgidoi10.1073pnas.0507400102

Srivastava, A., Bhardwaj, V., Singh, B., & Khurama, P. K. (2016). Potato diversity and its genetic enhancement. *Gene Pool Diversity and Crop Improvement*, 1, 187–226. <http://www.springer.com/series/11920>

Tapia - Vásquez, H. J. (2017). *Fenología y caracterización morfológica de 43 entradas de papa chaucha (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) de la Región de Cajamarca* [Tesis de titulación, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1673>

Torrance, L., Cowan, G. H., McLean, K., MacFarlane, S., Al-Abedy, A. N., Armstrong, M., Lim, T.-Y., Hein, I., & Bryan, G. J. (2020). Natural resistance to potato virus Y in *Solanum*

tuberosum group Phureja. *Theoretical and Applied Genetics*, 133, 967–980.

<https://doi.org/10.1007/s00122-019-03521-y>

Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K.,

Yutani, H., Dunnington, D., & Brand, T. V. D. (2016). *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. <https://ggplot2.tidyverse.org>

ANEXOS

Anexo 1. Guía para la caracterización morfológica de papa (Gómez, 2006).

I. HÁBITO DE LA PLANTA

- 1 erecto
- 2 semi-erecto
- 3 decumbente
- 4 postrado
- 5 semi-arrosetado
- 6 rosetado

II. FORMA DE LA HOJA

Tipo de disección	Número de foliolos laterales	Número de interhojuelas entre foliolos laterales	Número de interhojuelas sobre peciolulos
1 entera	1 par	0 ausente	0 ausente
2 lobulada	2 pares	1 par	1 par
3 disectada	3 pares	2 pares	2 pares
	4 pares	3 pares	3 pares
	5 pares	4 o más pares	4 o más pares
	6 pares		
	7 pares		

III. COLOR DEL TALLO

- 1 verde
- 2 verde con pocas manchas
- 3 verde con muchas manchas
- 4 pigmentado con abundante verde
- 5 pigmentado con poco verde
- 6 rojizo
- 7 morado

IV. FORMA DE LAS DE TALLO

- 0 ausente
- 1 recto
- 3 ondulado
- 5 dentado

V. GRADO DE FLORACIÓN

- 0 sin botones
- 1 aborto de botones
- 3 floración escasa
- 5 floración moderada
- 7 floración profusa

VI. FORMA DE LA COLORA

- 1 estrellada
- 3 semiestrellada
- 5 pentagonal
- 7 rotada
- 9 muy rotada

VII. COLOR DE LA FLOR

Color predominante	Intensidad de color predominante	Color secundario	Distribución de color secundario
1 blanco	1 pálido/claro	0 ausente	0 ausente
2 rojo-rosado	2 intermedio	1 blanco	1 acumen (blanco) – haz
3 rojo-morado	3 intenso/oscuro	2 rojo-rosado	2 acumen (blanco) – envés
4 celeste		3 rojo-morado	3 acumen (blanco) – ambos

5 azul-morado	4 celeste	4 en estrella
6 lila	5 azul-morado	5 bandas en haz
7 morado	6 lila	6 bandas en envés
8 violeta	7 morado	7 bandas en amabas caras
	8 violeta	8 manchas salpicadas
		9 pocas manchas o puntos

VIII. PIGMENTACIÓN EN ANTERAS

- 0 sin antocianinas
- 1 bandas laterales pigmentadas (PAS)
- 2 manchas pigmentadas en el ápice (PAT)
- 3 bandas y ápice pigmentados (PAS-PAT)
- 4 anteras rojo-marrón

IX. PIGMENTACIÓN EN EL PISTILO

- 0 sin antocianinas
- 1 estigma pigmentado (PS)
- 2 ovario pigmentado (PO)
- 3 pigmentado en pared interna del ovario (POW)
- 4 pigmentado (PS+PO)
- 5 pigmentado (PS+POW)
- 6 pigmentado (PO+POW)
- 7 pigmentado (PS+PO+POW)
- 8 otro (estilo pigmentado)

X. COLOR DEL CÁLIZ

- 1 verde
- 2 verde con pocas manchas
- 3 verde con abundantes manchas
- 4 pigmentado con abundante verde
- 5 pigmentado con poco verde
- 6 rojizo
- 7 morado

XI. COLOR DEL PEDICELO

- 1 verde
- 2 solo articulación pigmentada
- 3 ligeramente pigmentado a lo largo s/art
- 4 ligeramente pigmentado a lo largo y en articulación
- 5 pigmentado sobre la articulación
- 6 pigmentado debajo de la articulación
- 7 mayormente pigmentado y articulación verde
- 8 completamente pigmentado

XII. COLOR DE LA BAYA

- 1 verde
- 2 verde con pocos puntos blancos
- 3 verde con bandas blancas
- 4 verde con abundantes puntos blancos
- 5 verde con áreas pigmentadas
- 6 verde con bandas pigmentadas
- 7 predominantemente pigmentado

XIII. FORMA DE LA BAYA

- 1 globosa
- 2 globosa con mcrón terminal
- 3 ovoide
- 4 ovoide con mcrón terminal
- 5 cónica
- 6 cónica alargada
- 7 periforme

XIV. MADUREZ (Condiciones de Huancayo-Fundo la Victoria)

- | | |
|--------------|-------------------|
| 1 muy precoz | (menos a 90 días) |
| 3 precoz | (90 a 119 días) |
| 5 medio | (120 a 149 días) |

7 tardío	(150 a 179 días)
9 muy tardío	(más de 180 días)

XV. COLOR DE PIEL DEL TUBÉRCULO

Color predominante	Intensidad del color predominante	Color secundario	Distribución del color secundario
1 blanco-crema	1 pálido/claro	0 ausente	0 ausente
2 amarillo	2 intermedio	1 blanco-crema	1 en los ojos
3 anaranjado	3 intenso/oscuro	2 amarillo	2 en las cejas
4 marrón		3 anaranjado	3 alrededor de los ojos
5 rosado		4 marrón	4 manchas dispersas
6 rojo		5 rosado	5 como anteojos
7 rojo-morado		6 rojo	6 manchas salpicadas
8 morado		7 rojo-morado	7 pocas manchas
9 negruzco		8 morado	
		9 negruzco	

XVI. FORMA DEL TUBÉRCULO

Forma general	Variante de forma	Profundidad de ojos
1 comprimido	0 ausente	1 sobresaliente
2 redondo	1 aplanoado	3 superficial
3 ovalado	2 clavado	5 medio
4 obovado	3 reniforme	7 profundo
5 elíptico	4 falcado	9 muy profundo
6 oblongo	5 enroscado	
7 oblongo-alargado	7 digitado	
8 alargado	8 concertinado	
	9 tuberosado	

XVII. COLOR DE CARNE DEL TUBÉRCULO

Color predominante	Color secundario	Distribución del color secundario
1 blanco	0 ausente	0 ausente
2 crema	1 blanco	1 pocas manchas
3 amarillo claro	2 crema	2 áreas
4 amarillo	3 amarillo claro	3 anillo vascular angosto
5 amarillo intenso	4 amarillo	4 anillo vascular ancho
6 rojo	5 amarillo intenso	5 anillo vascular y médula
7 morado	6 rojo	6 todo menos médula
8 violeta	7 morado	7 otro (salpicado)
	8 violeta	

XVII. COLOR DEL BROTE

Color predominante	Color secundario	Distribución del color secundario
1 blanco-verdoso	0 ausente	0 ausente
2 rosado	1 blanco-verdoso	1 en la base
3 rojo	2 rosado	2 en el ápice
4 morado	3 rojo	3 pocas manchas a lo largo
5 violeta	4 morado	4 muchas manchas a lo largo
	5 violeta	5 en las yemas

Anexo 2. Tabla de doble entrada para flor y tubérculo.



Tabla 7

Origen geográfico y códigos de las 30 accesiones de papa del grupo Phureja en la región de Cajamarca.

Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	Código de accesión
Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	CAJ202512
		Jesús	Hualanga	CAJ202503
		La Encañada	El Granero	CAJ202506
			San José	CAJ202508, CAJ202525
		Namora	Huanico	CAJ202516
		San Juan	Huacraruco	CAJ202530
Cajamarca	Hualgayoc	Cajabamba	Cajabamba	CAJ202513
		Bambamarca	Quilinsacucho	CAJ202501, CAJ202504, CAJ202509, CAJ202514
			La Colpa	CAJ202502, CAJ202527
			Oxapampa	CAJ202515, CAJ202518, CAJ202519
		Chota	Chalapampa	CAJ202520
			La Locpa	CAJ202517, CAJ202524, CAJ202526
		Chota	La Quina	CAJ202505, CAJ202529
		San Miguel	Catilluc	Los Ángeles
		Cutervo	Cuñanque	CAJ202507, CAJ202521
			Huarrago	CAJ202510, CAJ202511
			La Libertad de la Palma	CAJ202523
			Pucquio	CAJ202528

Anexo 3. Fotografías de caracterización morfológica.

Figura 10

Cultivo de papa grupo Phureja de las 30 accesiones en floración.



Figura 11

Evaluación de flor con tabla de colores del CIP.



Tabla 8

Promedios del conteo de cloroplastos en células guarda para el nivel de ploidía.

Nº	Cultivar	1	2	3	4	5	Promedio	Ploidía
1	Ch. Amarilla	15	13	16	12	11	13	Tetraploide ($2n=4x=48$)
2	Ch. Amarilla antigua	6	7	5	6	7	6	Diploide ($2n=2x=24$)
3	Ch. Amarilla común	12	11	10	11	12	11	Triploide ($2n=3x=36$)
4	Ch. Amarilla grande	12	10	8	9	10	10	Triploide ($2n=3x=36$)
5	Ch. Amarilla larga	7	5	8	6	7	7	Diploide ($2n=2x=24$)
6	Ch. Amarilla redonda	14	16	11	12	12	13	Tetraploide ($2n=4x=48$)
7	Ch. Blanca	10	5	7	8	6	7	Diploide ($2n=2x=24$)
8	Ch. Bola de cuy	6	7	5	8	6	6	Diploide ($2n=2x=24$)
9	Ch. Chachapoyana - 3	7	7	8	6	6	7	Diploide ($2n=2x=24$)
10	Ch. Chilopa	7	6	6	6	6	6	Diploide ($2n=2x=24$)
11	Ch. Clavelina-1	7	6	6	8	8	7	Diploide ($2n=2x=24$)
12	Ch. ecuatoriana	8	7	7	6	8	7	Diploide ($2n=2x=24$)
13	Ch. Huamantanga	9	7	8	9	8	8	Diploide ($2n=2x=24$)
14	Ch. Huevo	8	9	8	7	9	8	Diploide ($2n=2x=24$)
15	Ch. Larga	8	6	9	8	8	8	Diploide ($2n=2x=24$)
16	Ch. Limeña blanca	8	6	9	7	10	8	Diploide ($2n=2x=24$)
17	Ch. Machala-1	13	14	13	13	13	13	Tetraploide ($2n=4x=48$)
18	Ch. Machala-2	11	12	10	13	14	12	Tetraploide ($2n=4x=48$)
19	Ch. Montañera	10	8	11	9	9	9	Triploide ($2n=3x=36$)
20	Ch. Negra-1	7	4	7	6	6	6	Diploide ($2n=2x=24$)
21	Ch. Negra-2	11	16	10	9	12	12	Tetraploide ($2n=4x=48$)
22	Ch. Pabla	7	7	7	7	6	7	Diploide ($2n=2x=24$)
23	Ch. Pañuelita-1	13	9	9	10	11	10	Triploide ($2n=3x=36$)
24	Ch. Pañuelita-2	8	10	8	9	10	9	Triploide ($2n=3x=36$)
25	Ch. Pimpinela	8	7	8	6	5	7	Diploide ($2n=2x=24$)
26	Ch. Poroporo	8	8	9	7	7	8	Diploide ($2n=2x=24$)
27	Ch. Runga	12	11	11	10	12	11	Triploide ($2n=3x=36$)
28	Ch. S/N	6	8	7	6	6	7	Diploide ($2n=2x=24$)
29	Ch. Shoga roja	6	5	6	6	7	6	Diploide ($2n=2x=24$)
30	Ch. Tulpuna	9	8	12	9	9	9	Triploide ($2n=3x=36$)

Anexo 4. Fotografías de ploidía.

Figura 12

Muestra de foliolos de papa grupo Phureja dispuestos en placa Petri para evaluación de ploidía.



Anexo 7

Figura 13

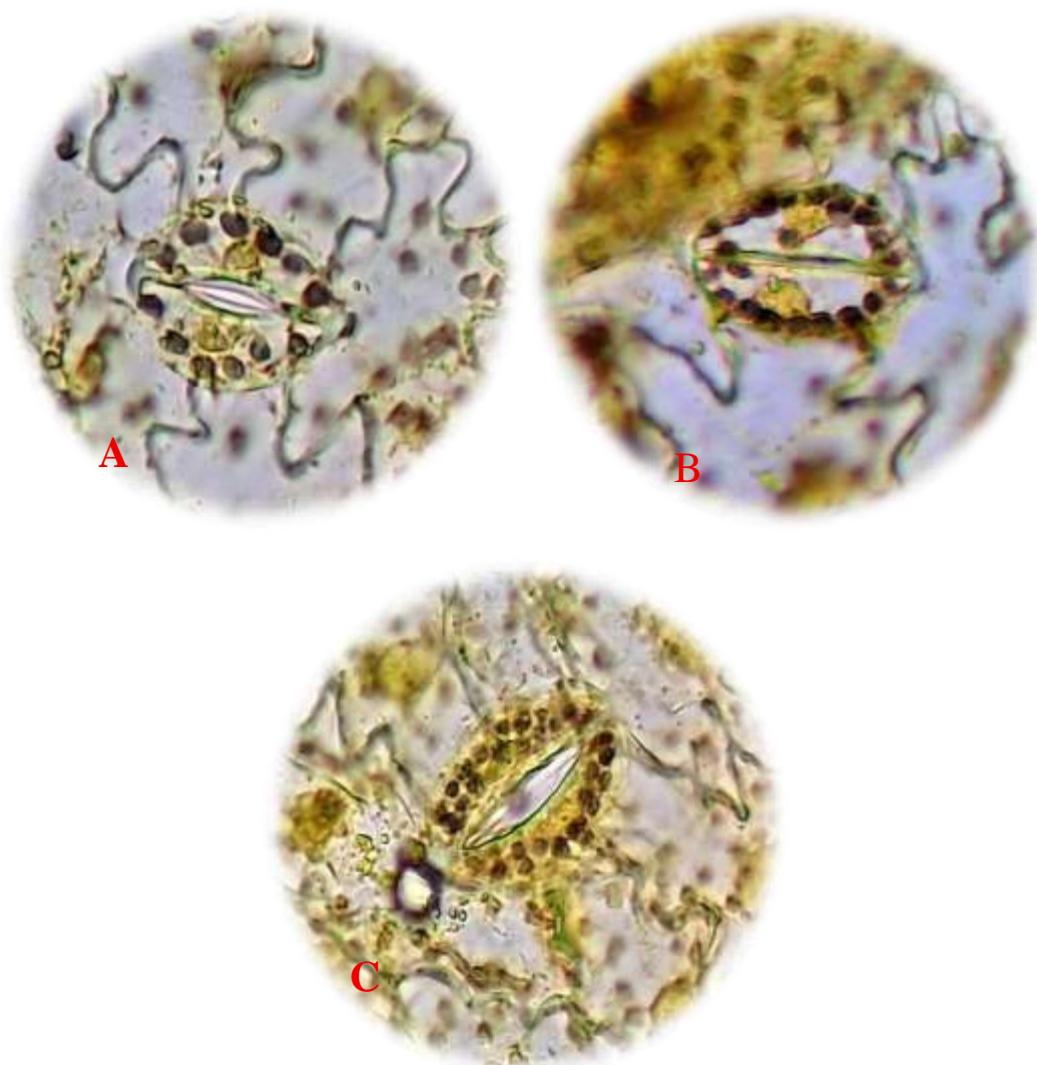
Observación microscópica de células guarda estomáticas.



Anexo 8

Figura 14

Observación microscópica de cloroplastos en células guarda estomáticas.



Nota: Las imágenes muestran variaciones en el número de cloroplastos según el nivel de ploidía (A) diploide, (B) triploide y (C) tetraploide.