

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS:**

**Variabilidad morfológica, precocidad y protocolo de PCR  
para el gen *Ryadg* de papas nativas (*Solanum spp.*)  
cultivados a 2760 msnm, Ayacucho - 2024**

Para optar el título profesional de:  
**INGENIERA AGRÓNOMA**

PRESENTADO POR:  
**Bach. Rosalia YARCURI AROTOMA**

ASESOR:  
**Ph.D. Germán Fernando DE LA CRUZ LAPA**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

## DEDICATORIA

*A mis seres queridos:*

*A mi padre, EDGAR, por su incansable apoyo económico y amor incondicional.*

*A mi madre, DINA, por el regalo más precioso: la vida.*

*A WILFREDO, por su apoyo invaluable y motivación constante.*

*Y a mis leales compañeros de alegrías y tristezas, mis mascotas Bad y Petofina, por ser mi refugio y terapia en momentos de estrés.*

*A mis maestros por tenerme paciencia y por los conocimientos compartidos, durante mi vida universitaria*

*A mis amigos y compañeros de la universidad que formaron momentos de alegría durante mi carrera profesional*

*RYA.*

## AGRADECIMIENTO

A la **Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH)**, mi Alma Mater que me brindo la oportunidad de formarme académicamente y profesionalmente. A la **Facultad de Ciencias Agrarias**, en especial a mis docentes, quienes compartieron conmigo sus conocimientos, experiencias y valores profesionales, contribuyendo significativamente en mi crecimiento personal y académico.

Al **Ph.D. German De La Cruz Lapa**, asesor del presente trabajo de investigación, quien deposito confianza en mí y me brindo la oportunidad de realizar mi proyecto de tesis bajo su guía. Agradezco profundamente su apoyo constante, sus valiosas sugerencias y su dedicación, las cuales me permitieron culminar en siguiente trabajo.

Al equipo de trabajo del **Grupo de Investigación en Genómica y Biotecnología en Cultivos Andinos (GMBCA)**, al **Círculo de Estudios e Investigación Genética y Biotecnología (CEIGB)**, por haberme acogido en sus filas. Asimismo, al **Laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal (LGBV)**, por la disponibilidad inmediata y acceso a sus equipos, lo cual fue esencial para la ejecución y culminación de este trabajo.

A mis **compañeros del Laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal**, con quienes compartí momentos de aprendizaje, esfuerzo y colaboración mutua durante todo el desarrollo y culminación de nuestro trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXO .....	xii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 LA PAPA ( <i>Solanum spp</i> ).....	5
1.2.1 Origen y distribución.....	5
1.2.2 Taxonomía.....	6
1.2.3 Características botánicas .....	6
1.2.4 Descriptores morfológicos para caracterización de papas nativas .....	7
1.3 POTYVIRUS .....	7
1.3.1 Taxonomía.....	8
1.3.2 Genes de resistencia al potyvirus .....	8
1.4 MARCADORES GENÉTICOS.....	9
1.4.1 Marcadores moleculares en papa .....	9
1.5 REACCIÓN EN CADENA DE POLIMERASA (PCR).....	10
1.5.1 Etapas de PCR.....	10
1.5.2 Cebadores .....	11

1.5.3	Electroforesis.....	11
CAPÍTULO II .....		12
2	METODOLOGÍA .....	12
2.1	LUGAR DE EXPERIMENTO .....	12
2.1.1	Ubicación .....	12
2.1.2	Ubicación política .....	12
2.1.3	Ubicación geográfica de NIPUH .....	12
2.2	CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES .....	13
2.3	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL SUELO .....	16
2.4	MATERIAL BIOLÓGICO .....	16
2.5	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	18
2.5.1	Características de la unidad experimental.....	19
2.6	INSTALACIÓN Y MANEJO DEL CULTIVO .....	20
2.6.1	Preparación del suelo .....	20
2.6.2	Trazado del diseño experimental .....	20
2.6.3	Surcado.....	21
2.6.4	Abonamiento .....	21
2.6.5	Siembra .....	21
2.6.6	Riego .....	21
2.6.7	Aporque.....	21
2.6.8	Control fitosanitario .....	22
2.6.9	Cosecha .....	22
2.6.10	Almacén de semillas .....	22
2.7	MÉTODO PARA EVALUACIÓN MORFOLÓGICA. ....	22
2.8	MÉTODO PARA EVALUACIÓN DE PRECOCIDAD .....	23

2.9	MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL PROTOCOLO DE PCR.....	23
2.9.1	Extracción de ADN.....	23
2.9.2	Cuantificación de ADN extraído.....	24
a.	Por espectrofotometría .....	24
b.	Por densitometría .....	25
2.9.3	Diseño de mix de PCR.....	25
2.9.4	Gradiente de temperatura Ta.....	25
2.10	ANÁLISIS DE DATOS.....	25
CAPÍTULO III.....		27
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
3.1	CARACTERES MORFOLÓGICOS .....	27
3.1.1	Variabilidad morfológica de 64 accesiones de papas ( <i>Solanum</i> spp.) de la provincia La Mar en condiciones ambientales de 2760 msnm. ....	27
3.2	CONSTRUCCIÓN DE DENDOGRAMA .....	36
3.2.1	Análisis de agrupamiento morfológico.....	36
3.2.2	Análisis de componentes principales (32 descriptores morfológicos).....	39
3.2.3	Análisis de correspondencia con caracteres morfológicos (CA) .....	41
3.3	PRECOCIDAD DE 64 ACCESIONES DE PAPAS ( <i>Solanum</i> spp.) DE LA PROVINCIA LA MAR EN CONDICIONES AMBIENTALES DE 2760 MSNM. ..	43
3.4	PRUEBA DE PROTOCOLOS DE PCR PARA OBSERVAR EL MARCADOR MOLECULAR DEL GEN <i>Ry<sub>adg</sub></i> , PARA RESISTENCIA AL VIRUS PVY .....	46
3.4.1	Resultados de la extracción de ADN .....	46
3.4.2	Resultados de las pruebas de PCR para el gen <i>Ry<sub>adg</sub></i> .....	46
CONCLUSIONES .....		49
RECOMENDACIONES.....		50
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....		51

ANEXOS .....55

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Lista de marcadores encontrados para genes de resistencia a Potyvirus .....	9
<b>Tabla 1.2</b> Secuencia de los cebadores o primers para PCR .....	10
<b>Tabla 2.1.</b> Balance hídrico, temperaturas máximas, promedio y mínimas durante el ciclo vegetacional 2022-2023. Estación Meteorológica de Ayacucho, INDIA, Canaán.....	14
<b>Tabla 2.2</b> Análisis de suelo de la parcela experimental de NIPUH .....	16
<b>Tabla 2.3.</b> Acciones de 60 papas nativas, más 3 cultivares mejorados y uno silvestre ( <i>Solanum</i> spp.) de la comunidad Virgen de Cocharcas, San Miguel, La Mar, Ayacucho.....	17
<b>Tabla 2.4.</b> Descripción del bloque y unidad experimental (UE), en el Núcleo de Investigación y Producción de la Universidad de Huamanga (NIPUH) a una altitud de 2760 msnm. ....	19
<b>Tabla 3.1.</b> Distribución de frecuencia del hábito de crecimiento, color y forma de las alas del tallo de las 64 acciones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	28
<b>Tabla 3.2.</b> Distribución de frecuencia de la forma de las hojas en las 64 acciones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	29
<b>Tabla 3.3.</b> Distribución de frecuencia del grado de floración, forma de la corola y color de cáliz en las 64 acciones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	30
<b>Tabla 3.4.</b> Distribución de frecuencia color de la flor en las 64 acciones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	30
<b>Tabla 3.5</b> Distribución de frecuencia de pigmentación de antera y pistilo en las 64 acciones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.). ....	31

<b>Tabla 3.6.</b> Distribución de frecuencia de color de pedicelo y color de la baya en las 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.) .....	32
<b>Tabla 3.7.</b> Distribución de frecuencia de forma de la baya en las 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	32
<b>Tabla 3.8.</b> Distribución de frecuencia de color de la piel del tubérculo en las 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.) .....	33
<b>Tabla 3.9.</b> Distribución de frecuencia de forma del tubérculo en las 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	34
<b>Tabla 3.10.</b> Distribución de frecuencia de color de la pulpa del tubérculo en las 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.) .....	35
<b>Tabla 3.11.</b> Distribución de frecuencia de color de brote en las 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	35
<b>Tabla 3.12.</b> Contribución de los descriptores (componentes) en describir la variabilidad morfológica de las papas. ....	39
<b>Tabla 3.13.</b> DLS de precocidad de 64 accesiones de papa nativa, 2760 msnm. ....	44
<b>Tabla 3.14.</b> Promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de la precocidad de papa nativa, 2760 msnm.....	45
<b>Tabla 3.15.</b> Mix de PCR.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Mapa de ubicación de la parcela experimental en NIPUH.....	13
<b>Figura 2.2.</b> Temperatura máxima, media, mínima y balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2022-2023. Estación Meteorológica INIA Canaán – Ayacucho.....	15
<b>Figura 2.3.</b> Distribución de los 64 tratamientos de papas nativas en los dos bloques con diseño Látice Simple (8x8) .....	18
<b>Figura 2.4.</b> Croquis de la unidad experimental.....	20
<b>Figura 3.1.</b> Índice de codo para determinación de número adecuado de subgrupos, el Clúster adecuado es el 4. ....	36
<b>Figura 3.2.</b> Dendograma basada en 32 descriptores morfológicos de 64 accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.), cultivados a 2760 msnm. ....	38
<b>Figura 3.3.</b> Aporte de los descriptores en la variabilidad morfológicos de las papas nativas a 2760 msnm. ....	40
<b>Figura 3.4.</b> Aporte de los descriptores en la variabilidad de papas nativas y correlación indirecta.....	41
<b>Figura 3.5.</b> Distribución individual de las accesiones en plano bidimensional .....	42
<b>Figura 3.6.</b> Distribución individual de las accesiones y correlación indirecta de los 32 descriptores como componentes (C). ....	43
<b>Figura 3.7.</b> Extracción de ADN visualizada en gel de agarosa de ocho accesiones de papa nativa ( <i>Solanum</i> spp.).....	46

<b>Figura 3.8.</b> Perfil térmico .....	47
<b>Figura 3.9</b> Foto de la primera prueba de PCR con ocho accesiones de papa nativa portadoras del gen $Ry_{adg}$ .....	48
<b>Figura 3.10</b> Foto de la segunda prueba de PCR con cinco accesiones de papa nativa portadoras del gen $Ry_{adg}$ .....	48

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>Anexo 2.</b>	Caracterización morfológica de las accesiones de papa nativa, cultivadas a 2760 msnm.....	56
<b>Anexo 3.</b>	Datos de caracteres de precocidad de las 64 accesiones de papa nativa, provenientes de Virgen de Cocharcas de Cochas y cultivadas a 2760 msnm, Ayacucho.....	58
<b>Anexo 4.</b>	Catálogo de fotos de hojas y tubérculo de las accesiones de papa nativa.....	59
<b>Anexo 5.</b>	Catálogo de fotos del proceso de ejecución de la tesis .....	68

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la variabilidad morfológica, precocidad del germoplasma de papas nativas (*Solanum spp.*) de la provincia La Mar (Ayacucho) cultivados a 2760 msnm. y probar protocolos de PCR para observar el marcador molecular del gen *Ry<sub>adg</sub>*, para resistencia al virus PVY, con el fin de conocer su potencial para programas de mejoramiento genético. Se utilizaron 32 descriptores morfológicos, así como características de precocidad (días a emergencia, floración, cosecha y dormancia).

Los resultados mostraron una amplia variabilidad morfológica entre las accesiones, agrupándose en cuatro subgrupos según similitudes en características como forma y color de tubérculos, hábito de crecimiento y floración. El análisis de componentes principales reveló que los descriptores C6, C12 y C20 fueron los que más contribuyeron a la variabilidad morfológica. Además, se identificaron accesiones precoces, como T34 (Sangre de toro macho), que emergió a los 10 días, y accesiones tardías, como T15 (Puka sawinto 1), que emergió a los 28 días. La comparación con estudios previos, como el de Muñoz (2024), realizado a 3760 msnm, evidenció diferencias en la expresión de caracteres morfológicos y en la precocidad de las accesiones, lo cual sugiere una fuerte influencia de las condiciones ambientales, como la altitud y la temperatura. Se logró estandarizar un protocolo de PCR para el marcador *RySC3*, relacionado con el gen de resistencia al virus Y de la papa, con condiciones óptimas de 95°C denaturación (60 seg), 50°C annealing (45 seg) y 72°C extensión (45 seg), con 30 ciclos.

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la papa ocupa el segundo lugar a nivel nacional y el cuarto a nivel mundial en términos de importancia dietética diaria, es consumida por su potencial nutritivo y propiedades nutraceutica. Comité de Agricultura (COAG) (2022), en el Perú, es uno de los principales cultivos en superficie sembrada y representa la cuarta parte del PBI agropecuario, además en la zona andina es el alimento básico y genera un ingreso para las familias, producen más de 600 mil pequeñas unidades agraria, por lo tanto, es importante evaluar la variabilidad morfológica y precocidad de las papas nativas que se cultivan, con la finalidad de conservar su biodiversidad, más aún en nuestro país ya que contamos con mayor diversidad de papa a nivel mundial, al contar con ocho especies nativas ya domesticadas y 91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre, que pueden ser portadoras de algún gen para resistencia a las situaciones inestables, para su posterior estudio en el mejoramiento genético, así fortalecer su competitividad y posicionamiento en el mercado.

Numerosos virus, como el virus Y (virus Y de la papa), que se propaga fácilmente por diversas especies de pulgones (siendo *Myzus persicae* el vector más importante), tienen un impacto en el cultivo de la papa. Generalmente causan necrosis del follaje y moteado como síntoma primario, y algunas combinaciones virales pueden causar necróticos en los tubérculos (Lorenzen et al, 2006, como se citó en Sagredo et al., 2009). Actualmente se pueden desarrollar herramientas biotecnológicas para identificar accesiones de papa portadora de genes de resistencia al virus Y mediante pruebas de PCR.

Se desconoce la variabilidad morfológica y precocidad del germoplasma de papas nativas (*Solanum spp.*) de la provincia La Mar (Ayacucho) cultivados a 2760 msnm; y se desconoce el protocolo de PCR que permita identificar el marcador molecular del gen *Ry<sup>adg</sup>*, para resistencia al virus PVY.

Por lo señalado, los objetivos son:

a. Objetivo general

Evaluar la variabilidad morfológica, precocidad del germoplasma de papas nativas (*Solanum spp.*) de la provincia La Mar (Ayacucho) cultivados a 2760 msnm. y probar protocolos de PCR para observar el marcador molecular del gen *Ry<sub>adg</sub>*, para resistencia al virus PVY.

b. Objetivo específico

- Determinar la variabilidad morfológica de 64 accesiones de papas nativas (*Solanum spp.*) de la provincia La Mar en condiciones ambientales de 2760 msnm.
- Determinar la precocidad de 64 accesiones de papas nativas (*Solanum spp.*) de la provincia La Mar en condiciones ambientales de 2760 msnm.
- Probar protocolos de PCR para observar el marcador molecular del gen *Ry<sub>adg</sub>*, para resistencia al virus PVY

## CAPÍTULO

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 ANTECEDENTES

La papa nativa (*Solanum* spp), originaria de los Andes, es conocida por su alta variabilidad morfológica y genética, lo que le hace clave para la adaptación a diferentes condiciones medioambientales especialmente son tolerantes al frío, por ende, es un recurso muy importante para el mejoramiento genético (De Haan et al., 2010).

De la Cruz, et al. (2020) en su investigación, evaluó la diversidad de papas nativas con diez marcadores SSR de tres distritos de Ayacucho (Anco, Chungui y Ticllas), el AMOVA el índice promedio de fijación ( $F_{ST} = 0.279$ ) y el índice de distancia genética ( $S_B$ ) muestra la diversidad a nivel intra e inter – poblacional es alto, asimismo entre las 3 poblaciones se diferencian genéticamente.

Huamán (2008) propuso una metodología con el “objetivo de proporcionar una descripción detallada de los cultivares de papa, enfocando en la caracterización morfológica. Para ello hizo una lista de descriptores clave que permite agrupar las entradas con alto coeficiente de similitud” facilitando así la identificación y clasificación de las accesiones. Por otra parte Gómez (2004), abordó caracterizar las plantas en condiciones de campo que se asemejen a su hábitat natural (*in-situ*), ya que en estas condiciones la planta expresa todas sus características cuantitativas y cualitativas, sin embargo, menciona que las plantas cultivadas en invernaderos u otros entornos protegidos enfrentan diversos desafíos, como cambios bruscos de temperatura y deficiencias en el sustrato. Estas condiciones pueden llevar a un crecimiento anormal de las plantas, hojas menos desarrolladas, pigmentación incompleta, tubérculos más pequeños y colores menos intensos. Además, el ambiente cálido puede generar una apariencia de madurez prematura en las plantas, lo que no necesariamente refleja su estado real de desarrollo.

En el marco de la caracterización de recursos fitogenéticos andinos, el estudio realizado por Muñoz (2024), constituye un referente fundamental para la presente investigación. Este trabajo evaluó *In Situ* 60 papas nativas 3 mejoradas (Yungay, Canchan y Mariva) y

uno silvestre recolectadas en Virgen de Cocharcas de Cochabamba, La Mar, uno de los objetivos fue evaluar la variabilidad morfológica utilizando 32 descriptores, donde agrupo en 4 subgrupos y evaluó la precocidad, resultando la papa silvestre precoz, madurando en solo 103 días después de la siembra.

Kasai et al., (2000), desarrollaron los marcadores SCAR RYSC4 y RYSC3, para la resistencia extrema al potyvirus, esto lo origino a partir de *S. tuberosum* subsp. Andigena y ejecutaron el ensayo en 103 líneas y cultivares de papa de diversos orígenes, este estudio sentó la base para nuevas investigaciones, como Sagredo et al. (2009), quienes evaluaron 71 genotipos de papa en condiciones *in vitro* utilizando el marcador SCAR RYSC3 para identificar genotipos portadores del gen *Ryadg*, asociada a la resistencia del virus PVY. La eficiencia del marcador SCAR RYSC3 se determinó comparando los resultados fenotípicos (resistencia o susceptible al PVY) obtenidos mediante pruebas de inoculación biológica frente a la presencia o ausencia del marcador. Los resultados muestran que 30 genotipos presentaron algún tipo de resistencia al virus, de los cuales 17 fueron portadores del marcador RYSC3, la eficiencia entre el ensayo del marcador y biológico de inoculación mecánica seguido la detección del virus PVY por DAS-ELISA, muestra que este marcador tiene una confiabilidad de casi el 100%.

De manera similar, Inostroza (2009) llevo a cabo un estudio con el objetivo de validar marcadores moleculares asociado al gen de resistencia al virus PVY. En este trabajo, se evaluaron 20 cultivares mejorados de papa tetraploides, determinando la resistencia y/o susceptibilidad al virus PVY a través de la absorbancia y severidad de los síntomas. Estos estudios permitieron la utilidad de los marcadores moleculares en la identificación de resistencia al PVY en variedades de papa.

## **1.2 LA PAPA (*Solanum spp*)**

### **1.2.1 Origen y distribución**

El centro de domesticación de la papa según Pumisacho & Sherwood (2002) es el altiplano Perú – Bolivia. Constan evidencias arqueológicas que diversas culturas antiguas como los Incas, Tiahuanaco, Nazca y Mochica sembraron la papa, que se desarrollaron a partir de especies diploides – *Solanum phureja*.

Pumisacho & Sherwood (2002), relatan que, en el siglo XVI, los españoles transportaron la papa a Europa, donde al principio se plantaron en áreas pequeñas que solo era por una curiosidad botánica. En el siglo XVII, se introdujo el cultivo en América del Norte posiblemente a través de Europa. Con el tiempo, la papa se convirtió en un alimento básico de alto valor nutricional.

### **1.2.2 Taxonomía**

Según Bukasov ((1971), citado en Rodríguez 2009) la papa está dentro del Reino Vegetal, se clasifica como se describe en el siguiente:

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especie: *Solanum tuberosum*

### **1.2.3 Características botánicas**

Inostroza (2009), la características botánicas y morfológicas son los siguiente:

La papa es una planta herbácea. Dentro de cada especie, puede crecer erguida, semierecta o rastrera, según su comportamiento de crecimiento.

Raíz.- Es axonomorfo, teniendo raíces adventicias en la base de cada brote y encima de los nudos, así como ramas laterales y tubérculos.

Tallo.- Está formada por tubérculos, estolones y tallos. Los tubérculos pueden desarrollar múltiples tallos, mientras que las plantas con semillas solo tienen uno. Puede ser de color púrpura, marrón rojizo o verde.

Estolones.- Estos son tallos laterales que emergen de las yemas y se desarrollan horizontalmente bajo tierra. Las papas silvestres suelen tener estolones largos que pueden ensancharse en el extremo terminal para generar tubérculos. Sin embargo, no todos los estolones se convierten en tubérculos. Pueden formar un tallo vertical con follaje típico si emergen cerca de la superficie.

Tubérculos.- Son los principales órganos de almacenamiento y son tallos modificados. Los ojos están distribuidos en la superficie del tubérculo, estas se concentran alrededor del extremo apical y se encuentran en las axilas de las hojas escamosas, también conocidas como "cejas".

Brotes.- Se desarrollan a partir de yemas que se encuentran en los ojos del tubérculo, y cada variación tiene un tono diferente. Las lenticelas definen el extremo basal del brote, que constituye la porción subterránea del tallo. Como resultado, las raíces y los estolones se producen rápidamente.

Hojas.- Son compuestas, dispuestas en espiral sobre el tallo, y tienen un folíolo terminal así como múltiples pares de folíolos laterales primarios en el raquis.

Flor.- El pedúnculo de la inflorescencia se divide en dos ramas (panícula cimosa), cada una de las cuales a su vez en dos más. De estas ramas emergen los pedicelos, que presentan cálices en sus extremos superiores.

Semilla.- El ovario produce una baya, que es un fruto con muchas semillas.

#### ***1.2.4 Descriptores morfológicos para caracterización de papas nativas***

La caracterización morfológica es primordial en una colección, para identificar entradas duplicadas, estas identificaciones se deben registrar en todas las plantas coleccionadas desarrolladas en el propio ambiente, en una climática prospera, y bajo la misma densidad de siembra, para que éstas tengan las mismas oportunidades de desarrollarse (Huamán 2008). En términos generales, los descriptores son rasgos morfológicos que se manifiestan de forma más o menos consistente en diversos entornos ambientales. Esto implica que una propiedad física debe tener un impacto mínimo de los factores ambientales y no verse afectada por la expresión genética para ser considerada un descriptor (Gómez 2004)

### **1.3 POTYVIRUS**

Salazar (1971) menciona que poseen partículas filamentosas y flexuosas y el virus predominante es el virus Y de la patata (PVY), y los aislados se han dividido en tres grupos principales de variantes:

PVY<sup>O</sup>: Son un problema importante en la producción de la papa, causando mosaico, moteado, arrugamiento y necrosis en la hoja (Lorenzen et al, 2006)

PVY<sup>C</sup> : Causa necrosis y moteado en las hojas (Salazar, 1971).

PVY<sup>N</sup>: Causa solo mosaico o moteado en las hojas y es el más peligroso, porque se propaga rápidamente en el campo (Salazar, 1971).

Salazar (1971), dice que hay diversas especies de áfidos pueden propagar fácilmente todas las variantes excepto el PVY<sup>C</sup>, siendo *Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae* los vectores naturales más significativos. Los principales síntomas del PVY<sup>O</sup> y el PVY<sup>C</sup> suelen ser el moteado y la necrosis de las hojas, mientras que el PVY<sup>N</sup> simplemente produce mosaico o moteado. Fuera del rango de 10 a 25 °C, los síntomas del mosaico podrían pasar desapercibidos. Teniendo en cuenta a Lorenzen et al, (2006, citado en (Sagredo D et al., 2009) hay una combinación de las cepas más comunes que han originado a PVY<sup>N:O</sup> y PVY<sup>NTN</sup>, solo esta variante causa anillos necróticos en los tubérculos.

### **1.3.1 Taxonomía**

Reino: Orthornavirae

Clase: Stelpaviricetes

Género: Potyvirus

Familia: Potyviridae

Fuente: (Salazar, 1971)

### **1.3.2 Genes de resistencia al potyvirus**

**Genes R:** Citando a Valkonen (2015), menciona que los “se presentan como grupos de genes muy similares en los cromosomas de las plantas y provocan una respuesta de defensa rápida y poderosa, que puede tomar la forma de una respuesta de resistencia hipersensible o de resistencia extrema”.

**Gen Ry:** Según Salazar (1971a), es monomérica que actúa en forma dominante y tiene el mecanismo de resistencia extrema debido a la producción de necrosis en los tubérculos, así mismo la expresión es similar a los genes que confieren hipersensibilidad.

**Gen Ry<sub>adg</sub>:** Whitworth et al. (2009), menciona que esta mapeado en el cromosoma XI y es clasificado como una resistencia extrema a todas las cepas de PVY, así como también a las variantes. Solomon and Barker (2001), el gen *Ry<sub>adg</sub>* es epistático al gen *Ny<sub>adg</sub>* de resistencia hipersensible, estos son derivados de *S. andigena* y Valkonen (2015), indica que “el mecanismo de resistencia extrema se caracteriza por una fuerte reducción de la replicación del virus en las células infectadas”

#### 1.4 MARCADORES GENÉTICOS

Según Tanksley (1983, citado en (Delgado 2006), nombra que hay dos clases: morfológicos y moleculares, e indica que el marcador morfológico es para caracteres morfológicos y agronómicos de las plantas, pero estas presentan restricciones, porque su expresión puede estar sometido a los factores ambientales o fenológicos. Existen dos tipos marcadores moleculares: isoenzimas y marcadores de ADN, estos ostentan mayor segregación o polimorfismo, y pueden ser evaluados desde los primeros estados y en cualquier tipo de material vegetal.

##### 1.4.1 Marcadores moleculares en papa

Abriata et al. (2011) menciona que un marcador molecular es meramente un “segmento de ADN” con una ubicación concreta en un cromosoma. Vicente & Fulton (2004, citado en (Cadima et al. 2013)), señala que los marcadores moleculares permiten realizar análisis de variabilidad a nivel del ADN, y esta no es influenciado por factores medioambiental, y se puede utilizar en cualquier fase del desarrollo de la planta. Delgado (2006), define los marcadores moleculares como cualquier diferencia fenotípica controlada genéticamente.

**Tabla 0.1** Lista de marcadores encontrados para genes de resistencia a Potyvirus

N°	Crom.	Gen	MF	Factor	Referencia
1	XI	<i>Ry<sub>adg</sub></i>	RySC3	PVY	(Kasai et al., 2000)

2	XI	<i>Rysto</i>	M45	PVY	(Wang et al., 2008)
---	----	--------------	-----	-----	---------------------

Nota. MF: marcadores flanqueantes para cada gen.

**Tabla 0.2** Secuencia de los cebadores o primers para PCR

Marcador	Cebador	Tamaño (pb)
<b>RySC3</b>	F: ATA CAC TCA TCT AAA TTT GAT GG R: AGG ATA TAC GGC ATC ATT TTT CCG A	321
<b>M45</b>	F: CCT AGT TTC TGA GCA TGT AAT TTC R: TGC AGC TAT TCA AAA CAC ATA AGG	500

Nota. pb: pares de bases.

## 1.5 REACCIÓN EN CADENA DE POLIMERASA (PCR)

Mediante esta técnica una secuencia de ADN específica puede amplificarse millones de veces mediante PCR, una reacción enzimática *in vitro* que replica fielmente la secuencia diana a lo largo de varios ciclos. En esta reacción se utiliza la enzima ADN polimerasa, que puede crear ADN de forma natural en las células. La PCR se produce cuando el sustrato es ADN genómico; sin embargo, la RT-PCR (PCR con transcripción inversa) se produce cuando se utiliza ADN complementario (ADNc) del ARNm. Esto se debe a que la transcripción inversa se produce y está regulada por la enzima transcriptasa inversa, que puede convertir el ADNm en ADNc (Tamay de Dios et al. 2013)

### 1.5.1 Etapas de PCR

Según Tamay de Dios et al. (2013) hay tres etapas principales:

**Desnaturalización.** En esta etapa, durante 20 a 30 segundos, el ADN se calienta y se separa a 95 °C. El tiempo depende de la secuencia de hibridación; la concentración de G-C es alta; la ruptura de sus enlaces tardará más porque estas bases se aparean para formar tres enlaces, uno más que las bases A-T; y la velocidad a la que el termociclador eleva la temperatura también influye en la duración. Al final de esta etapa, tendremos las hebras divididas, que se utilizarán como hibridación para la siguiente fase.

**Hibridación.** Los cebadores hibridan con la secuencia complementaria tras la hibridación con el extremo 3' del molde previamente separado. La temperatura de fusión ( $T_m$ ) ideal,

también conocida como temperatura de hibridación, suele estar entre 50 y 60 °C para la formación del complejo molde-cebador. La estabilidad y especificidad del complejo serán óptimas si los cebadores están bien diseñados y la temperatura es la adecuada.

**Extensión.** La Taq polimerasa añade dNTP complementarios al complejo molde-cebador para formar cadenas de ADN completas, iniciando su actividad catalítica con extrema rapidez. La extensión de la cadena se produce de 5' a 3', que es la dirección de la síntesis de ADN. Dado que la enzima es activa a 72 °C, esta es la temperatura sugerida para el proceso. El tamaño de los amplicones producidos al final del ciclo se basará en el número total de pares de bases (pb).

### ***1.5.2 Cebadores***

Citando a Tamay de Dios et al, (2013), los cebadores son secuencias de oligonucleótidos complementarias que flanquean y delimitan la secuencia diana que se va a amplificar. Las secuencias directa e inversa son distintas; ambas hibridan con el molde y permiten que la Taq polimerasa estire las cadenas de ADN en la dirección 5'-3'.

### ***1.5.3 Electroforesis***

Tamay de Dios et al. (2013) afirma que, utilizando una matriz sólida que actúa como filtro para separar moléculas grandes, como los ácidos nucleicos, en grupos según su carga eléctrica y tamaño en un campo eléctrico. El TBE o el TAE pueden utilizarse como tampón para esta separación. El grupo fosfato confiere a los ácidos nucleicos su carga negativa, razón por la cual se desplazan hacia el polo positivo en la electroforesis.

## CAPÍTULO

### METODOLOGÍA

#### 2.1 LUGAR DE EXPERIMENTO

##### *2.1.1 Ubicación*

Se instaló en predio de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en el Núcleo de Investigación y Producción de la Universidad de Huamanga (NIPUH) a una altitud de 2760 msnm. y se realizó el protocolo de PCR con marcador molecular del gen *Ry<sup>adg</sup>*, para resistencia al virus PVY en el laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal de la Escuela de Agronomía de la UNSCH,

##### *2.1.2 Ubicación política*

Departamento : Ayacucho

Provincia : Ayacucho

Distrito : Huamanga

##### *2.1.3 Ubicación geográfica de NIPUH*

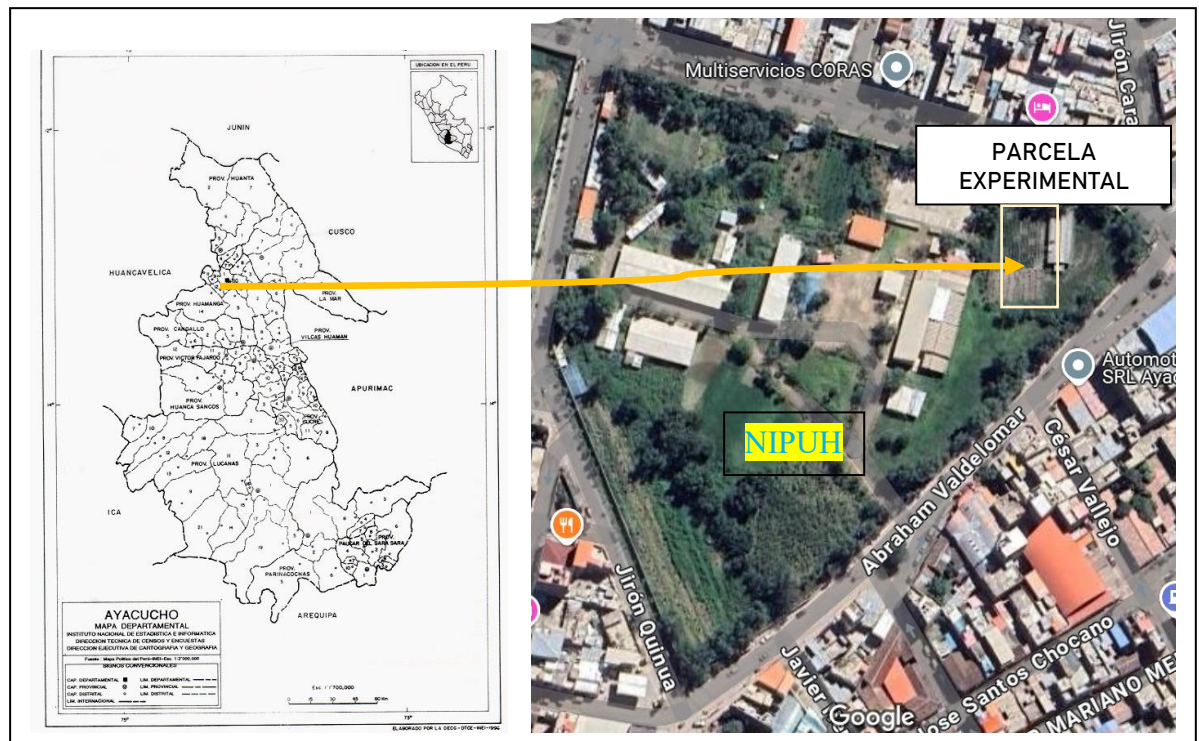
Latitud : 13°09'18.41"S

Longitud : 74°13'08.97"O

Altitud : 2760 msnm.

Región natural : Región Quechua

**Figura 2.1.** Mapa de ubicación de la parcela experimental en NIPUH



Fuente: Google maps

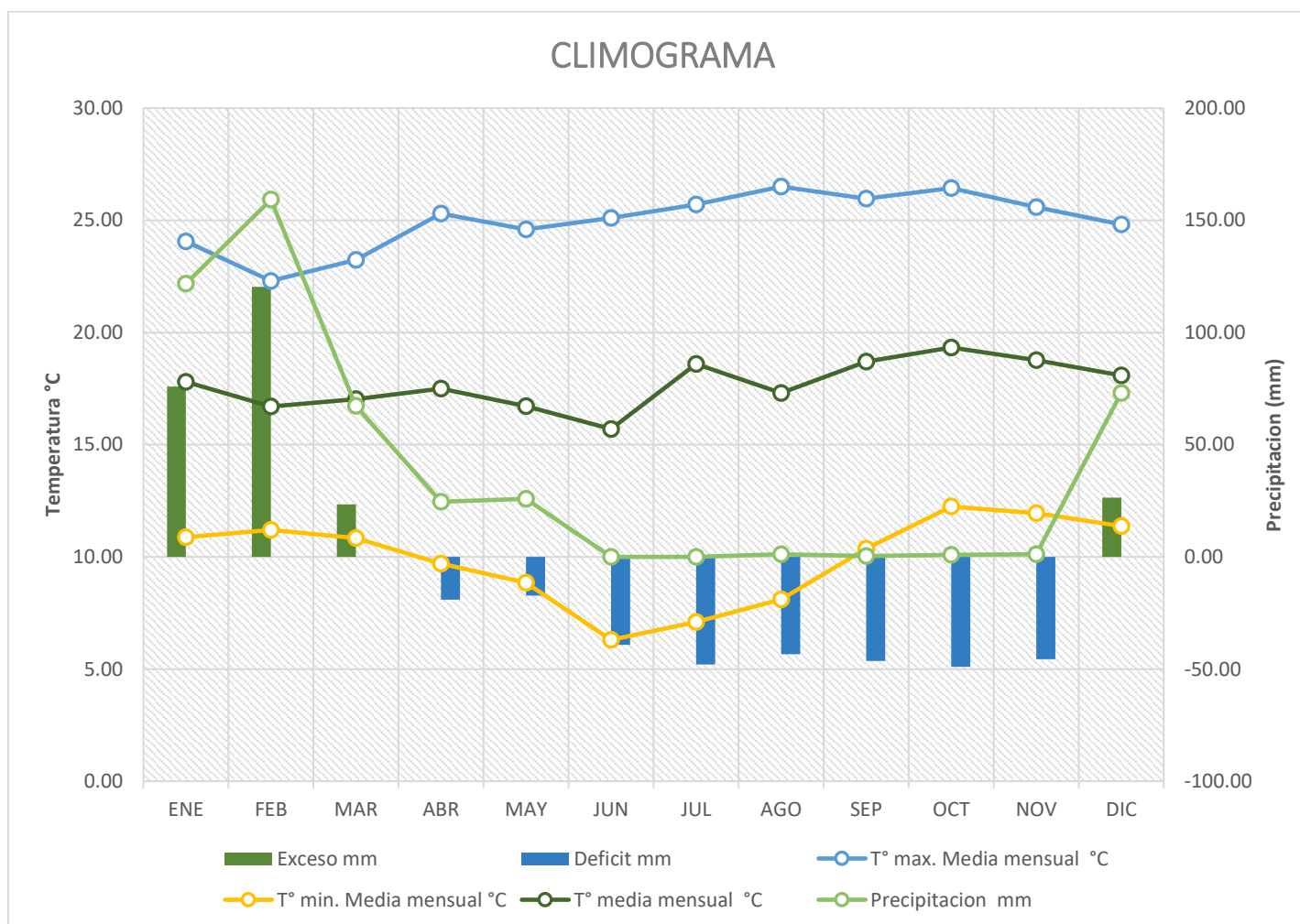
## 2.2 CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES

Se tomó los datos de INIA CANAÁN - Ayacucho, ubicado a una altitud 2735 msnm y sus coordenadas 13° 10' 0.06" Latitud Sur y 74° 12' 22.92" Longitud Oeste.

La estación meteorológica reporta una temperatura máxima media mensual en el mes de agosto con 26.5°C y la temperatura mínima en el mes de junio con 6.3°C, la precipitación máxima fue en el mes de febrero con 159.2 mm, tal como se muestra en la Tabla 2.1 balance hídrico, en donde se identificaron humedad en los meses diciembre a marzo y los meses abril a noviembre hay un déficit hídrico.



**Figura 2.2.** Climograma correspondiente a la campaña agrícola 2022-2023. Estación Meteorológica INIA Canaán – Ayacucho



### 2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO

El muestreo del suelo se tomó utilizando el método zig zag a una profundidad de 15 cm, luego todas las muestras recolectadas fueron combinadas y divididas en cuatro hasta quedarse con un kilogramo, finalmente fue etiquetada y llevada al Laboratorio de Suelos ubicado en el programa de pastos y ganadería, los resultados se observan en la Tabla 2.2, donde el pH es moderadamente alcalino, la materia orgánica es muy baja, fósforo y el nitrógeno es bajo, solo el potasio es alto y la textura del suelo es franco arenoso.

**Tabla 2.2** Análisis de suelo de la parcela experimental de NIPUH

Descripción	Variables	Unidad	Interpretación
pH	8.32		alcalino
CE	0.66	dS/m	muy ligeramente salino
CaCO <sub>3</sub>	0.5	%	bajo
MO	0.99	%	muy bajo
P	14.4	ppm	bajo
K	174.6	ppm	alto
CICe	22.8	Cmol(+)/kg	medio
Nt	0.05	%	bajo
Textura	Fr.Ar		franco arenoso
<b>cationes cambiabiles</b>			
Ca <sup>++</sup>	6.72	Cmol(+)/kg	medio
Mg <sup>++</sup>	4.88	Cmol(+)/kg	alto
K <sup>+</sup>	0.9	Cmol(+)/kg	alto
Na <sup>+</sup>	0.74	Cmol(+)/kg	muy alto

### 2.4 MATERIAL BIOLÓGICO

Como se indica en la Tabla 2.3, el material biológico fue recolectado en la provincia La Mar de la región Ayacucho en el año 2021.

**Tabla 2.3.** Accesiones de 60 papas nativas, más 3 cultivares mejorados y uno silvestre (*Solanum spp.*) de la comunidad Virgen de Cocharcas, San Miguel, La Mar, Ayacucho.

TRAT	ENTRADA/ ACCESIONES	TRAT	ENTRADA/ ACCESIONES
T1	Carrasco	T33	PN5
T2	Peruanita	T34	Sangre de toro macho
T3	Palta mindez	T35	Sangre de toro
T4	Lenguas	T36	Peruanita larga
T5	Duraznillo	T37	Camotillo
T6	Huantina	T38	Yuraq wicapasña
T7	Yuraq winchina	T39	Yana llumchuy waq
T8	Qellu runtus	T40	Puka carrasco
T9	Allqa carrasco	T41	Kunkantullo
T10	Ruyaq suytu	T42	Lengua de vaca
T11	PN4	T43	PN6
T12	PN1	T44	Humampa uman 2
T13	Ruyru mindez	T45	Blanca andina
T14	Moro panchaela	T46	Tumbay
T15	Puka sawinto 1	T47	PN9
T16	Mariva	T48	Taragallo
T17	Yana carrasco	T49	Puka sawinto 2
T18	PN2	T50	Chanchamayina
T19	Ruyru ritipa sisan	T51	Chiqchi wiksa
T20	Chaulina	T52	Huevo de indio
T21	Huamampa uman	T53	PN7
T22	Puka huayro	T54	Yana huayru
T23	Ritipa sisan	T55	PN8
T24	Piñacha	T56	Corazon de cuy
T25	Cuchipelo	T57	Quchurva
T26	Wira pasña mor	T58	Papa fuerte
T27	Puka turnillo	T59	PN3
T28	Sangre de cristo	T60	Puka ñawi
T29	Wincuello	T61	Qorisunqu
T30	Atuqpa papan	T62	Qellqay Wiksa
T31	Uru puñuchi	T63	Yungay
T32	Amarilla larga	T64	Canchan

Fuente: Muñoz (2024)

Nota: PN = papa nativa

## 2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tubérculos-semilla de 64 accesiones de papa fueron distribuidos en el campo mediante Diseño Látice Simple (8x8) con dos repeticiones (dos bloques) por cada accesión.

El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

Modelo aditivo lineal (MAL)

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + S_k + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : Rendimiento del  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésimo repetición, del  $k$ -ésimo bloque incompleto.

$\mu$  : Es el promedio de las unidades experimentales

$T_i$  : Es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$B_j$  : Es el efecto del  $j$ -ésimo bloque o repetición

$S_k$  : Es el  $k$ -ésimo bloque incompleto

$E_{ijk}$  : Es el error experimental del  $i$ -ésimo tratamiento, en la  $j$ -ésima repetición, del  $k$ -ésimo bloque incompleto.

$i$  : varia de 1,2,3,...,t (subíndice de variación de tratamientos)

$j$  : varia de 1,2,3,...,r (subíndice de variación de bloques o repeticiones)

$k$  : número de bloques incompletos

**Figura 2.3.** Distribución de los 64 tratamientos de papas nativas en los dos bloques con diseño Látice Simple (8x8)

### BLOQUE I

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08
2	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
3	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
4	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32
5	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40
6	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48
7	T49	T50	T51	T52	T53	T54	T55	T56
8	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64

### BLOQUE II

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	T01	T09	T17	T25	T33	T41	T49	T57
2	T02	T10	T18	T26	T34	T42	T50	T58
3	T03	T11	T19	T27	T35	T43	T51	T59
4	T04	T12	T20	T28	T36	T44	T52	T60
5	T05	T13	T21	T29	T37	T45	T53	T61
6	T06	T14	T22	T30	T38	T46	T54	T62
7	T07	T15	T23	T31	T39	T47	T55	T63
8	T08	T16	T24	T32	T40	T48	T56	T64

#### 2.5.1 Características de la unidad experimental

Cada unidad experimental (UE) es una parcela de 2.4m x 2m, estuvo integrado por 9 plantas, distribuidos en tres surcos (0.8m entre surcos) y con tres golpes (0.65m entre plantas) por cada surco.

**Tabla 2.4.** Descripción del bloque y unidad experimental (UE), en el Núcleo de Investigación y Producción de la Universidad de Huamanga (NIPUH) a una altitud de 2760 msnm.

Descripción	Magnitud	Medida
Largo de la UE	m	2.40
Ancho de la UE	m	2.00
Área de la UE	m <sup>2</sup>	4.80
Largo del bloque	m	19.20
Ancho de bloque	m	16.00



### **2.6.3 Surcado**

Se comenzó con la apertura del surco utilizando el allacho y azadones, con un distanciamiento entre surco de 0.8 metros, según el croquis. Se apertura un día antes de la siembra.

### **2.6.4 Abonamiento**

De acuerdo al análisis de suelo, el nivel de P disponible 14 ppm (bajo), N total 0.05% (bajo) y la cantidad de M.O 0.99% es muy baja, por tal razón se realizó el abonamiento de fondo con estiércol de bovino a una dosis de 2 Kg/UE y fertilizante químico MOLIMAX papa sierra con nivel de abonamiento 15-25-15 NPK a razón de 500 gr/UE y de apoyo en la etapa de llenado de tubérculo, microelementos (Fertrilon-combi Fe 4%, Mn 4%, Cu 1.5%, Zn 1.5%, B 0.5%, Mo 0.1%)

### **2.6.5 Siembra**

La siembra fue el 20 de diciembre del 2022, consistió en la puesta del tubérculo brotado encima de la M.O, el distanciamiento fue de 0.65 metros entre golpe, en una profundidad aproximadamente de 10-15 centímetros, la fertilización fue esparcido por golpe entre cada tubérculo.

### **2.6.6 Riego**

El riego fue proporcionado inmediatamente después de la siembra, dado que el tubérculo tenía brotes, asimismo el reporte meteorológico del mes de diciembre muestra que no es necesario el riego, pero la fecha en el que se sembró no hubo precipitación, y se instaló sistema de riego por goteo con mangueras de 2 pulgadas como eje principal finalmente, y cintas de goteo.

### **2.6.7 Aporque**

Primer aporque: Esta labor se realizó debido a la invasión de las malezas en la parcela y para no malograr los estolones de la papa, esta actividad se hizo el 21 de enero del 2023, utilizando como herramienta principal el azadón.

Segundo aporque: esta actividad fue el 17 de febrero con el fin de ayudar en la tuberización de los estolones y no genere brotes.

### **2.6.8 Control fitosanitario**

Se realizó control preventivo el 20 de febrero contra *Phytophthora infestans* utilizando “Mancozeb” y aplicación de insecticida “Cipermetrina y Fastac” por la presencia de plagas ocasionales y para evitar el lavado del producto de utilizó coadyuvantes orgánico siliconado BREAK THRU a razón de 0.15cc/L.

### **2.6.9 Cosecha**

La cosecha fue el 20 de abril del 2023 a los 120 dds, cuando la mayoría de las accesiones estaban listas para la cosecha, esta cuando las hojas de la planta mostraban 50% de amarillamiento, pero las accesiones tardías aun seguían con hojas verdes, los tubérculos cosechados de cada accesión se mantuvieron separadas para luego escoger la semilla y guardar para seguir evaluando las características morfológicas del tubérculo.

### **2.6.10 Almacén de semillas**

Luego de la cosecha se seleccionó 15 tubérculos por cada accesión luego fueron tratadas con producto químico TIFÓN (Chlorpyrifos 25g/kg + aditivos), para almacenar en una zona oscura en bolsas de papel a una temperatura de 12-15°C en el banco de germoplasma del Laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal de la UNSCH.

## **2.7 MÉTODO PARA EVALUACIÓN MORFOLÓGICA.**

Para evaluar la variabilidad morfológica en las 64 accesiones, se utilizó el descriptor de Rene Gómez 2004.

Durante la evaluación de campo en plena floración, se documentaron cuatro características foliares, una del hábito de crecimiento, dos del tallo, diez de la flor, dos de la baya, diez del tubérculo y tres del brote. Cada clave de descriptor morfológico se codifica con números arábigos; durante la recolección de datos, solo se registró en la matriz los códigos correspondientes a las características correspondientes.

## 2.8 MÉTODO PARA EVALUACIÓN DE PRECOCIDAD

Para evaluar la precocidad de las papas, se consideró los caracteres siguientes:

- a. **Días hasta la emergencia (dds):** Se registró el número de días después de la siembra en que emergió el 50% de las accesiones plantadas.
- b. **Días hasta la floración (dds):** Se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la floración en la mitad de las accesiones plantadas.
- c. **Días a la madurez de cosecha (dds):** Se registró días transcurridos hasta que el 50% de las accesiones alcanzó la madurez para la cosecha, o cuando las hojas se marchitaron en promedio un 80%.
- d. **Días hasta la brotación (dde):** Se registró el número de días transcurridos entre la cosecha y la brotación en el 50% de las accesiones.

## 2.9 MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL PROTOCOLO DE PCR

### 2.9.1 *Extracción de ADN*

Se utilizó hojas sanas y del ápice de la planta para evitar la extracción de ADN de otros micro organismos. Se siguió el protocolo del método CTAB 2X (hexadecil bromuro de trimetil amonio) (Doyle y Doyle, 1990), modificado por CIP, (1998) que se menciona en seguida:

1. Se pesó 100 mg de tejido, seguido se procedió a moler dentro de un mortero esterilizado en nitrógeno líquido para obtener un polvo fino
2. Se llenó un tubo Eppendorf de 2 mL con el polvo. La mezcla se agitó en vórtex tras añadir 700 µl de tampón de extracción CTAB 2X y 2 µl de beta-mercaptoetanol. Durante 45 minutos, cada tubo se mezcló cada 15 minutos sumergido en un recipiente con agua a 65 °C. Tras la incubación, se extrajeron los tubos y se dejaron enfriar durante dos minutos a temperatura ambiente.
3. Para la separación de proteínas y polisacáridos, se agregó 700 uL de cloroformo: alcohol isoamílico (24:1) y se agito en vórtex hasta homogenizar el contenido.

4. Seguidamente se centrifugó a 12,700 rpm por 5 minutos y después se transfirió el sobrenadante a un nuevo microtubo eppendorf estéril debidamente etiquetado. Se desechó el cloroformo: alcohol isoamílico remanente.
5. Se adicionó 50uL de CTAB 10X (en NaCl 0.7M), vórtex para homogenizar.
6. Se repite etapas 3 y 4.
7. Se añadieron 400–500  $\mu$ L de isopropanol frío y se invirtió la mezcla para homogeneizarla y precipitar los ácidos nucleicos. Posteriormente, se incubó durante 15 minutos a  $-20^{\circ}\text{C}$ .
8. Centrifugue durante 20 minutos a 12 700 rpm. Sin perder el sedimento de ADN, escurra cuidadosamente el sobrenadante de isopropanol. Durante dos minutos, mantenga los tubos boca abajo sobre una toalla de papel.
9. El pellet de ADN se purificó añadiendo 1 ml de alcohol etílico al 70 %, centrifugándolo durante 30 minutos a 12 700 rpm y decantando el etanol. Tras añadir 1 ml de alcohol etílico al 90 % y centrifugarlo durante 30 minutos a 12 700 rpm, se extrajo el etanol. Posteriormente, el pellet se dejó secar boca abajo durante la noche.
10. Para disolver al ADN se incorporó 150 uL de T<sub>10</sub>E<sub>1</sub>, se adiciono 1 – 2 uL de RNasea 10 ng/ul, libre de ADNasa, vortex, finalmente se incubó a  $37^{\circ}\text{C}$  por una hora.
11. Se conservó a  $-20^{\circ}\text{C}$

## **2.9.2 Cuantificación de ADN extraído**

### **a. Por espectrofotometría**

La proporción A<sub>260</sub>/A<sub>280</sub> del ADN puro estuvo entre 1.7 y 2.0. A continuación se describe el procedimiento:

- a. Para disolver completamente el pellet de ADN extraído, primero se disolvió en 150 uL de T<sub>10</sub>E<sub>1</sub> o agua destilada y luego se incubó durante una hora a  $37^{\circ}\text{C}$ ,
- b. Para las mediciones espectrofotométricas, se blanquearon 1,5  $\mu$ L de T<sub>10</sub>E<sub>1</sub> y se añadió la misma cantidad de ADN disuelto. Antes de la lectura, cada muestra se agitó

suavemente para homogeneizarla. La misma solución utilizada para disolver el pellet se utilizó para el blanqueamiento,

c. Finalmente se hizo la lectura correspondiente de la concentración de ADN en ng/uL

### ***b. Por densitometría***

Se evaluó la integridad y calidad; asimismo, la cantidad de ADN comparando con los estándares de Lambda Hind-III.

Se preparó un gel de agarosa al 1% en 90 ml de tampón TBE 1X con 2  $\mu$ L de EtBr. El gel se colocó en la bandeja de la cámara de electroforesis y se llenó con solución de corrida (TBE 1X) hasta el nivel adecuado. Posteriormente, se añadieron 2  $\mu$ L de agua desmineralizada (NFW), 1  $\mu$ L de carga 6X y 3  $\mu$ L de ADN de muestra para crear la mezcla de corrida, cuyo volumen final fue de 6  $\mu$ L. Tras la correcta disposición de las mezclas en el gel de agarosa, se sometió a electroforesis durante una hora a 90 voltios. Posteriormente, se examinó bajo un transiluminador UV y se tomó una imagen del gel para confirmar y analizar los resultados.

### ***2.9.3 Diseño de mix de PCR***

El master mix para una reacción (1Rxx) es de 10uL el cual contenía 1.65uL de NFW, 2uL de buffer (5X), 1uL de MgCl (25uM), 0.2uL de dNTPs (20uM), 3.0  $\mu$ L de primer (10uM), 0.15  $\mu$ L de enzima Taq polimerasa (5U/uL) y 4.0  $\mu$ L de ADN molde (Muñoz, 2024)

### ***2.9.4 Gradiente de temperatura Ta***

La temperatura de annealing se probó con 50 °C con un tiempo de 45 segundos en el termociclador DLAB TC 1000 copy.

## **2.10 ANÁLISIS DE DATOS**

Con los datos cualitativos de la caracterización morfológica se agrupo con Rstudio y la precocidad se realizó la prueba de contraste de medias Tuckey a una probabilidad de  $p < 0.05$ .

Los datos cualitativos y cuantitativos de la extracción de ADN se analizaron mediante estadísticos de tendencia central (media, desviación estándar). Luego de la replicación del ADN por PCR y mediante electroforesis se registró la presencia y/o ausencia de las bandas de ADN del marcador molecular RySC3 con la siguiente secuencia F: ATA CAC TCA TCT AAA TTT GAT GG y R: AGG ATA TAC GGC ATC ATT TTT CCG A del gen *Ryadg*, que tiene un peso de 321 pb (Kasai et al., 2000). Mediante el transluminador UV se capturó la imagen del gel para su interpretación, adjuntando fotografías que complementarían el análisis.

## CAPÍTULO

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CARACTERES MORFOLÓGICOS

##### *3.1.1 Variabilidad morfológica de 64 accesiones de papas (Solanum spp.) de la provincia La Mar en condiciones ambientales de 2760 msnm.*

- a. **Habito de crecimiento.** - El hábito de crecimiento de la papa se evaluó en plena floración, observándose cinco hábitos de crecimiento. El 62.5% crecen postrado en este tipo de ambiente; mientras el 3.1% de la planta de forma erecto; 7.8% semi erecto; 25% de forma decumbente y solo el 1.6% semi-arrostado (Tabla 3.1). Estos resultados difieren parcialmente con los resultados de Muñoz (2024), las papas nativas cultivado a 3760 msnm el hábito de crecimiento de la papa nativa del 54.69% fue semi-erecto. Esta variación podría atribuirse a las diferentes condiciones medioambientales entre las dos altitudes.
- b. **Color del tallo.**- La pigmentación los tallos de la papa se evaluó en plena floración, donde se observó al 50.01% verde con pocas manchas; 15.63% rojizo; 14.06% de color verde, 14.06% verde con muchas manchas y 3.13% pigmentado con abundante verde y color morado (Tabla 3.1). Estos resultados coinciden parcialmente con los de Muñoz (2024), quien reportó que el 50% de las accesiones tenían el color de los tallos verde con pocas manchas.
- c. **Forma de las alas del tallo.**- Se identificaron tres tipos de forma de las alas del tallo, siendo el 45.31% de forma recto; seguida 28.13% ondulado; 23.44% dentada y solo 3.13 % de plantas tienen ausencia de alas en el tallo (Tabla 3.1). Estos resultados tienen la tendencia de los resultados reportados por Muñoz (2024) quien reportó que la forma de las alas del tallo es recto en 57.81% de las accesiones.

**Tabla 3.1.** Distribución de frecuencia del hábito de crecimiento, color y forma de las alas del tallo de las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.).

HÁBITO DE CRECIMIENTO	CANT.		COLOR DE TALLO	CANT.		FORMA DE LAS ALAS DEL TALLO	CANT.	
		%			%			%
1 Erecto	2	3.13	1 Verde	9	14.06	0 Ausente	2	3.13
2 Semi-erecto	5	7.81	2 Verde con pocas manchas	18	28.1	1 Recto	29	45.31
3 Decumbente	16	25.00	3 Verde con muchas manchas	9	14.06	2 Ondulado	18	28.13
4 Postrado	40	62.50	4 Pigmentado con abundante verde	2	3.13	3 Dentado	15	23.44
5 Semi-arrostado	1	1.56	5 Pigmentado con poco verde	14	21.88		<b>64</b>	<b>100.00</b>
6 Arrosetado	0	0.00	6 Rojizo	10	15.63			
	<b>64</b>	<b>100.00</b>	7 Morado	2	3.13			
				<b>64</b>	<b>100.00</b>			

d. **Forma de la hoja.-** Se evaluó en plena floración, tomando como referencia la hoja ubicada en el tercio medio del tallo principal. Los resultados se observan en la (Tabla 3.2)

**d.1. Tipo de disección.** - La papa nativa cultivada a 2760 msnm presentaron hoja disectada el 100%. Este resultado coincide con el reporte de Muñoz (2024), quien también encontró que todas las accesiones de papa nativa cultivadas a 3760 msnm tenían hoja disectada.

**d.2. Numero de foliolos laterales.-** La mayoría de las accesiones, 57.81% presentaron cuatro pares de foliolos laterales, seguido el 29.69% cinco pares, 10.94% tres pares y solo 1.56% tiene 6 pares. Estos resultados difieren con los de Muñoz (2024), quien reportó que el 46.88% de las accesiones cultivadas a 3760 msnm tenían 5 pares, seguido el 45.32% con 4 pares.

**d.3. Numero inter-hojuelas entre foliolos laterales.-** El 57.81% de las plantas tienen inter hojuelas de 2 pares; 31.25% un par; 6.25% tres pares y no tienen 4.69%. Estos resultados contrastan con los de Muñoz (2024), reportó que todas las accesiones tuvieron inter hojuelas, siendo el 63.50% con 4 pares.

**d.4. Numero inter-hojuelas sobre peciolulos.-** se observó 2 tipos de pares y el 56.3% de las accesiones no presentaron interhojuelas sobre los peciolulos; mientras que 42.2% tuvieron un par y solo 1.6% tubo 2 pares. Estos resultados son similares a los reportes de Muñoz (2024), encontró que el 45.31% no tenían interhojuelas y un par tuvieron el 37.5%.

**Tabla 3.2.** Distribución de frecuencia de la forma de las hojas en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.).

FORMA DE LA HOJA											
Tipo de disección	Numero de folios laterales				Numero inter-hojuelas entre foliolos laterales		Numero inter-hojuelas sobre peciolulos				
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%			
1 entera	0	0.00	0 ausente	0	0.00	0 Ausente	3	4.69	0 ausente	36	56.3
2 Lobulada	0	0.00	3 pares	7	10.94	1 par	20	31.25	1 par	27	42.2
3 Disectada	64	100.00	4 pares	37	57.81	2 pares	37	57.81	2 pares	1	1.6
	<b>64</b>	<b>100.00</b>	5 pares	19	29.69	3 pares	4	6.25		<b>64</b>	<b>100.0</b>
			6 pares	1	1.56		<b>64</b>	<b>100.00</b>			
			<b>64</b>	<b>100.00</b>							

- e. **Grado de floración.** - En este estudio, se observó 67.19% de las accesiones presentaron una floración moderada; floración profusa 15.63%; floración escasa 14.06%; tubo aborto de botones el 1.56% y sin botones 1.56% (Tabla 3.3). Estos resultados son consistentes con los reportes de Muñoz (2024), el 59.38% cultivadas a 3760 msnm también tuvo una floración moderada, seguido por floración escasa, 23.44% (Muñoz, 2024).
- f. **Forma de la corola.**- En la floración se identificaron 5 formas de corola. El 50% son de forma semi estrellada; 26.56% pentagonal; 10.94% rotada y en forma estrellada el 9.38% (Tabla 3.3). Estos resultados difieren parcialmente con los de Muñoz (2024), reportó que el 35.9% de las accesiones tuvieron la forma de la corola tipo pentagonal, seguida semi-estrellada 25%.
- g. **Color de cáliz.**- mostro una amplia variabilidad, 7 tipos de pigmentación, siendo la mayoría pigmentado con poco verde 39.06%; verde con pocas machas 21.88% y los demás pigmentaciones se encuentran en menor proporción (Tabla 3.3). estos resultados coinciden parcialmente con los de Muñoz (2024), reportó que el 32.25% de las accesiones tenían cáliz poco verde.

**Tabla 3.3.** Distribución de frecuencia del grado de floración, forma de la corola y color de cáliz en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.).

GRADO DE FLORACIÓN			FORMA DE LA COROLA			COLOR DE CALIZ		
	Cant.	%		Cant.	%		Cant.	%
0 Sin botones	1	1.56	1 Estrellada	6	9.38	1 Verde	6	9.38
1 Aborto de botones	1	1.56	3 Semi-estrellada	32	50.00	2 Verde con pocas manchas	14	21.88
3 Floración escasa	9	14.06	5 Pentagonal	17	26.56	3 Verde con abundantes manchas	4	6.25
5 Floración moderada	43	67.19	7 Rotada	7	10.94	4 Pigmentado con abundante verde	3	4.69
7 Floración profusa	10	15.63	9 Muy rotada	0	0.00	5 Pigmentado con poco verde	25	39.06
	<b>64</b>	<b>100.00</b>	Sin Dato (SD)	2	3.13	6 Rojizo	6	9.38
				<b>64</b>	<b>100.00</b>	7 Morado	4	6.25
						Sin Dato (SD)	2	3.13
							<b>64</b>	<b>100.00</b>

- h. **Color de la flor.-** Las accesiones de papa sembradas a 2760 msnm, presentaron una amplia variedad de colores en la floración. El color morado fue más frecuente, presente en el 31.25% de las accesiones; seguido de color violeta 28.13%; 17.19%, blanco; lila, 15.63%; 3.13% azul morado y 1.56% rojo morado. Estos resultados difieren parcialmente con los reportes de Muñoz (2024), mayor proporción de flor violeta el 31.25%; seguido por morado y blanco, 25.63% cada una.

**Tabla 3.4.** Distribución de frecuencia color de la flor en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.).

COLOR DE LA FLOR											
Color predominante		%		Intensidad de color predom.		Color secundario		Distribución del color secundario			
	Cant.	%		Cant.	%		Cant.	%			
0 Ausente	0	0.00	1 Pálido/ Claro	19	29.69	0 Ausente	13	20.31	0 ausente	13	20.31
1 Blanco	11	17.19	2 Intermedio	23	35.94	1 Blanco	31	48.44	1 Acumen (blanco) - haz	1	1.56
2 Rojo-rosado	0	0.00	3 Intenso / Oscuro	20	31.25	2 Rojo-rosado	0	0.00	2 Acumen (blanco) - envez	3	4.69
3 Rojo-morado	1	1.56	Sin Dato (SD)	2	3.13	3 Rojo-morado	2	3.13	3 Acumen (blanco) - ambos	7	10.94
4 Celeste	0	0.00		<b>64</b>	<b>100.00</b>	4 Celeste	0	0.00	4 En estrella	2	3.13
5 Azul-morado	2	3.13				5 Azul-morado	0	0.00	5 Bandas en el haz	1	1.56
6 Lila	10	15.63				6 Lila	11	17.19	6 Bandas en el envez	0	0.00
7 morado	20	31.25				7 morado	1	1.56	7 Bandas en ambas caras	3	4.69
8 Violeta	18	28.13				8 Violeta	4	6.25	8 Manchas salpicadas (*)	15	23.44
Sin Dato (SD)	2	3.13				Sin Dato (SD)	2	3.13	9 Pocas manchas o puntos	17	26.56
	<b>64</b>	<b>100.00</b>					<b>64</b>	<b>100.00</b>	Sin Dato (SD)	2	3.13
										<b>64</b>	<b>100</b>

- i. **Pigmentación de antera.** - Se observó durante la plena floración, donde se observó los diferentes pigmentos de la antera, el 95.31% no presentaron antocianina, solo 1.56% con mancha pigmentada en el ápice. Estos resultados contrastan con los reportados por Muñoz (2024), quien encontró 23.44% con las bandas y ápices pigmentado; seguido el 20.31% con mancha pigmentada en el ápice.
- j. **Pigmentación de pistilo.**- Gran parte de los pistilos de las accesiones se encontró sin antocianinas, 56.25%; mientras el 37.50%, pigmentado en pared interna del ovario y 1.56% ovario pigmentado. Estos resultados difieren parcialmente con los de Muñoz (2024), reportó el 75% de las accesiones no presentaron pigmentación.

**Tabla 3.5** Distribución de frecuencia de pigmentación de antera y pistilo en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.).

PIGMENTACIÓN DE ANTERA			PIGMENTACIÓN EN PISTILO		
	Cant.	%		Cant.	%
0 Sin antocianinas	61	95.31	0 Sin antocianinas	36	56.25
1 Bandas laterales pigmentadas (PAS)	0	0.00	1 Estigma pigmentado (PS)	0	0.00
2 Mancha pigmentada en el ápice (PAT)	1	1.56	2 Ovario pigmentado (PO)	1	1.56
3 Bandas y ápice pigmentadas PAS+PAT	0	0.00	3 Pigm. en pared interna del ovario (POW)	24	37.50
4 Anteras rojo-marrón	0	0.00	4 Pigmentación PS+PO	0	0.00
Sin Dato (SD)	2	3.13	5 Pigmentación PS+POW	1	1.56
	<b>64</b>	<b>100.00</b>	6 Pigmentación PO+POW	0	0.00
			7 Pigmentación PS+PO+POW	0	0.00
			8 Otro (estilo pigmentado)	0	0.00
			Sin Dato (SD)	2	3.13
				<b>64</b>	<b>100.00</b>

- k. **Color de pedicelo.**- Se evaluó durante la floración, donde los resultados se muestran en la Tabla 3.6. El 45.32% el pedicelo es completamente pigmentado, seguido por el 15.63%, verde; 9.38%, ligeramente pigmentado a lo largo y articulación, la misma cantidad pigmentado debajo de la articulación y los demás colores se muestran en menor proporción. Estos resultados difieren parcialmente con los reportados por Muñoz (2024), encontró el 50% de los pedicelos estaban ligeramente pigmentado a lo largo.
- l. **Color de la baya.**- El 21.88% de las bayas son de color verde con bandas blancas; seguido verde con áreas pigmentadas, 18.75%; 17.19%, verde con bandas

pigmentadas. Se contrastan con los resultados de Muñoz (2024), quien reportó el 45.31% de color verde.

**Tabla 3.6.** Distribución de frecuencia de color de pedicelo y color de la baya en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.)

COLOR DE PEDICELO	COLOR DE LA BAYA	
	Cant.	%
1 Verde 1	10	15.63
2 Sólo articulación pigmentada	4	6.25
3 Ligeramente pigmentado a lo largo s/artic	3	4.69
4 Lig pigm. a lo largo y en articulación	6	9.38
5 pigmentado sobre la articulación	3	4.69
6 Pigmentado debajo de la articulación	6	9.38
7 Mayormente pigmentado y articulación verde	1	1.56
8 Completamente pigmentado	29	45.31
Sin Dato (SD)	2	3.13
	<b>64</b>	<b>100.00</b>

m. **Forma de la baya.-** Se identificaron seis formas de bayas en las 64 accesiones de papa nativa Tabla 3.7, la forma globosa fue más frecuente, presente en 39.06% y ovoide, 32.81%; 10.94%, periforme; las demás formas son en menor proporción. Estos resultados difieren parcialmente con los de Muñoz (2024), encontró solo 3 formas de baya siendo el más común la forma globosa 45.31%.

**Tabla 3.7.** Distribución de frecuencia de forma de la baya en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.)

FORMA DE LA BAYA		
	Cant.	%
1 Globosa	25	39.06
2 Globosa con mucrón terminal	4	6.25
3 Ovoide	21	32.81
4 Ovoide con mucrón terminal	2	3.13
5 Cónica	2	3.13
6 Cónica alargada	0	0.00
7 Periforme	7	10.94
Sin Dato (SD)	3	4.69
	<b>64</b>	<b>100.00</b>

n. **Color de piel de tubérculo.-** Se evaluó después de la cosecha, donde el 21.88% es de color negruzco; 20.31%, rojo; 14.06% amarillo y rojo-morado; 9.38% de color

morado; los demás colores son en proporción menor (Tabla 3.8). Estos resultados contrastan con los de Muñoz (2024), reportó 7 colores siendo el más abundante blanco crema 35.84%

**Tabla 3.8.** Distribución de frecuencia de color de la piel del tubérculo en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum spp.*)

COLOR DE LA PIEL DE TUBÉRCULO											
Color predominante		Intensidad de color predominante				Color secundario				Distribución de color secundario	
	Cant.	%		Cant.	%		Cant.	%		Cant.	%
1 Blanco-crema	1	1.56	1 Pálido / Claro	7	10.94	0 Ausente	35	54.69	0 ausente	35	54.69
2 Amarillo	9	14.06	2 Intermedio	27	42.19	1 Blanco-crema	1	1.56	1 En los ojos	5	7.81
3 Anaranjado	3	4.69	3 Intenso / Oscuro	30	46.88	2 Amarillo	5	7.81	2 En las cejas	2	3.13
4 Marrón	4	6.25		64	100.00	3 Anaranjado	2	3.13	3 Alrededor de los ojos	1	1.56
5 Rosado	5	7.81				4 Marrón	1	1.56	4 Manchas dispersas	7	10.94
6 Rojo	13	20.31				5 Rosado	3	4.69	5 Como anteojos	6	9.38
7 Rojo-morado	9	14.06				6 Rojo	1	1.56	6 Manchas salpicadas	8	12.50
8 Morado	6	9.38				7 Rojo-morado	8	12.50	7 Pocas manchas	0	0.00
9 Negruzco	14	21.88				8 Morado	8	12.50		64	100
	<b>64</b>	<b>100.00</b>				9 Negruzco	0	0.00			
							<b>64</b>	<b>100.00</b>			

o. **Forma de tubérculo.-** la mayoría de los tubérculos tienen la forma comprimido, 23.44%; obovado, 20.31%; elíptica, 12.50%; oblongo-alargado, oblongo y redondo cada una se encuentra con 10.94%; ovalada, 6.25% y alargado, 4.69%. en variante de forma se encontró el 10.94% clavado, mientras que en profundidad de ojo el 64.06% de las accesiones tiene superficial (Tabla 3.9).

**Tabla 3.9.** Distribución de frecuencia de forma del tubérculo en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.).

FORMA DEL TUBÉRCULO								
Forma general	Variante de forma				Profundidad de ojos			
	Cant.	%		Cant.	%		Cant.	%
1 Comprimido	15	23.44	0 Ausente	35	54.69	1 Sobresaliente	5	7.81
2 Redondo	7	10.94	1 Aplanado	2	3.13	3 Superficial	41	64.06
3 Ovalado	4	6.25	2 Clavado	7	10.94	5 Medio	13	20.31
4 Obovado	13	20.31	3 Reniforme	5	7.81	7 Profundo	5	7.81
5 Elíptico	8	12.50	4 Fusiforme	5	7.81	9 Muy profundo	0	0.00
6 Oblongo	7	10.94	5 Falcado	0	0.00		<b>64</b>	<b>100</b>
7 Oblongo-alargado	7	10.94	6 Enroscado	1	1.56			
8 Alargado	3	4.69	7 Digitado	0	0.00			
	<b>64</b>	<b>100.00</b>	8 Concertinado	5	7.81			
			9 Tuberosado	4	6.25			
				<b>64</b>	<b>100.00</b>			

p. **Color de la Pulpa del Tubérculo.** - el color de la pulpa que predomina en las 64 accesiones de papa nativa es de color blanco, 32.81%; seguido el color crema y amarillo intenso, 18.75% cada una; amarillo, 14.06; amarillo intenso, 10.94%; rojo, morado y violeta, cada una con un 1.56% (Tabla 3.10). estos resultados difieren parcialmente con los de Muñoz (2024), encontró el color blanco en 57.81% de las accesiones; seguido crema 23.44%.

**Tabla 3.10.** Distribución de frecuencia de color de la pulpa del tubérculo en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.)

COLOR DE LA PULPA DE TUBÉRCULO								
Color predominante	Color secundario		DISTRIBUCIÓN DEL COLOR SECUNDARIO					
	Cant	%	Cant	%	Cant.	%		
1 Blanco	21	32.81	0 Ausente	42	65.63	0 Ausente	42	65.63
2 Crema	12	18.75	1 Blanco	1	1.56	1 Pocas manchas	10	15.63
3 Amarillo claro	12	18.75	2 Crema	4	6.25	2 Áreas	4	6.25
4 Amarillo	9	14.06	3 Amarillo claro	1	1.56	3 Anillo vascular angosto	4	6.25
5 Amarillo Intenso	7	10.94	4 Amarillo	0	0.00	4 Anillo vascular ancho	0	0.00
6 Rojo	1	1.56	5 Amarillo Intenso	0	0.00	5 Anillo vascular y médula	2	3.13
7 Morado	1	1.56	6 Rojo	0	0.00	6 Todo menos médula	1	1.56
8 Violeta	1	1.56	7 Morado	11	17.19	7 Otro (salpicado)	1	1.56
	<b>64</b>	<b>100.00</b>	8 Violeta	5	7.81		<b>64</b>	<b>100</b>
				<b>64</b>	<b>100</b>			

q. **Color de brote.-** Se evaluó una vez que los tubérculos habían brotado, donde se evaluó color predominante, color secundario y distribución del color secundario (Tabla 3.11), se encontraron 4 colores de brote, la mayoría son de color blanco, 60.94%; violeta, 21.88%; morado, 15.62% y de color rosado 1.56%. en el color secundario abunda el color blanco, seguido rosado y morado 31.25, 15.63 y 14.06% respectivamente. Estos resultados coinciden con los de Muñoz (2024), en el color predominante del brote encontró que el 54.69% era de color blanco.

**Tabla 3.11.** Distribución de frecuencia de color de brote en las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.)

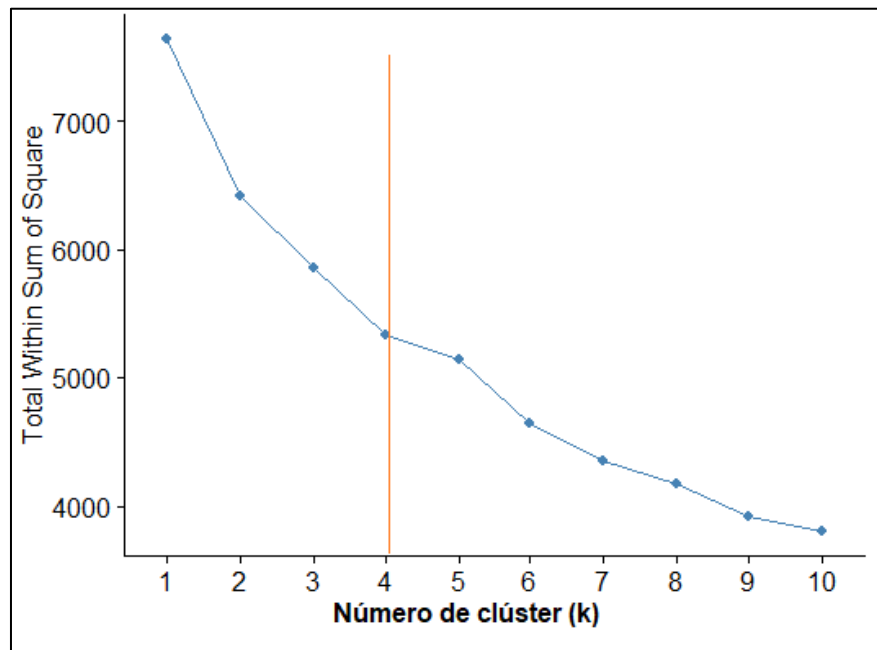
COLOR DE BROTE								
Color predominante	Color secundario		Distribución de color secundario					
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%		
1 Blanco	39	60.94	0 Ausente	13	20.31	0 Ausente	13	20.31
2 Rosado	1	1.56	1 Blanco	20	31.25	1 En la base	12	18.75
3 Rojo	0	0.00	2 Rosado	11	17.19	2 En el ápice	7	10.94
4 Morado	10	15.63	3 Rojo	1	1.56	3 Pocas manchas a lo largo	17	26.56
5 Violeta	14	21.88	4 Morado	10	15.63	4 Muchas manchas a lo largo	1	1.56
	<b>64</b>	<b>100</b>	5 Violeta	9	14.06	5 En las yemas	14	21.88
				<b>64</b>	<b>100</b>		<b>64</b>	<b>100</b>

## 3.2 CONSTRUCCIÓN DE DENDOGRAMA

### 3.2.1 *Análisis de agrupamiento morfológico*

Para análisis de agrupamiento primero se determinó el número de clúster de acuerdo a los datos obtenidos en el campo, 32 descriptores morfológicos los cuales fueron consolidados en una matriz (anexo 1), para luego realizar el dendograma de las 64 accesiones.

En la figura 1.1 se observa índice de determinación del número adecuado de subgrupos para dendograma a partir de datos cualitativos de caracterización morfológica de las 64 accesiones. Según este resultado, el número adecuado de clúster sería 4, dado que en este punto existe un “quiebre de codo o wss”. Tomando este índice se determinó el dendograma general de las 64 accesiones de papa nativa.

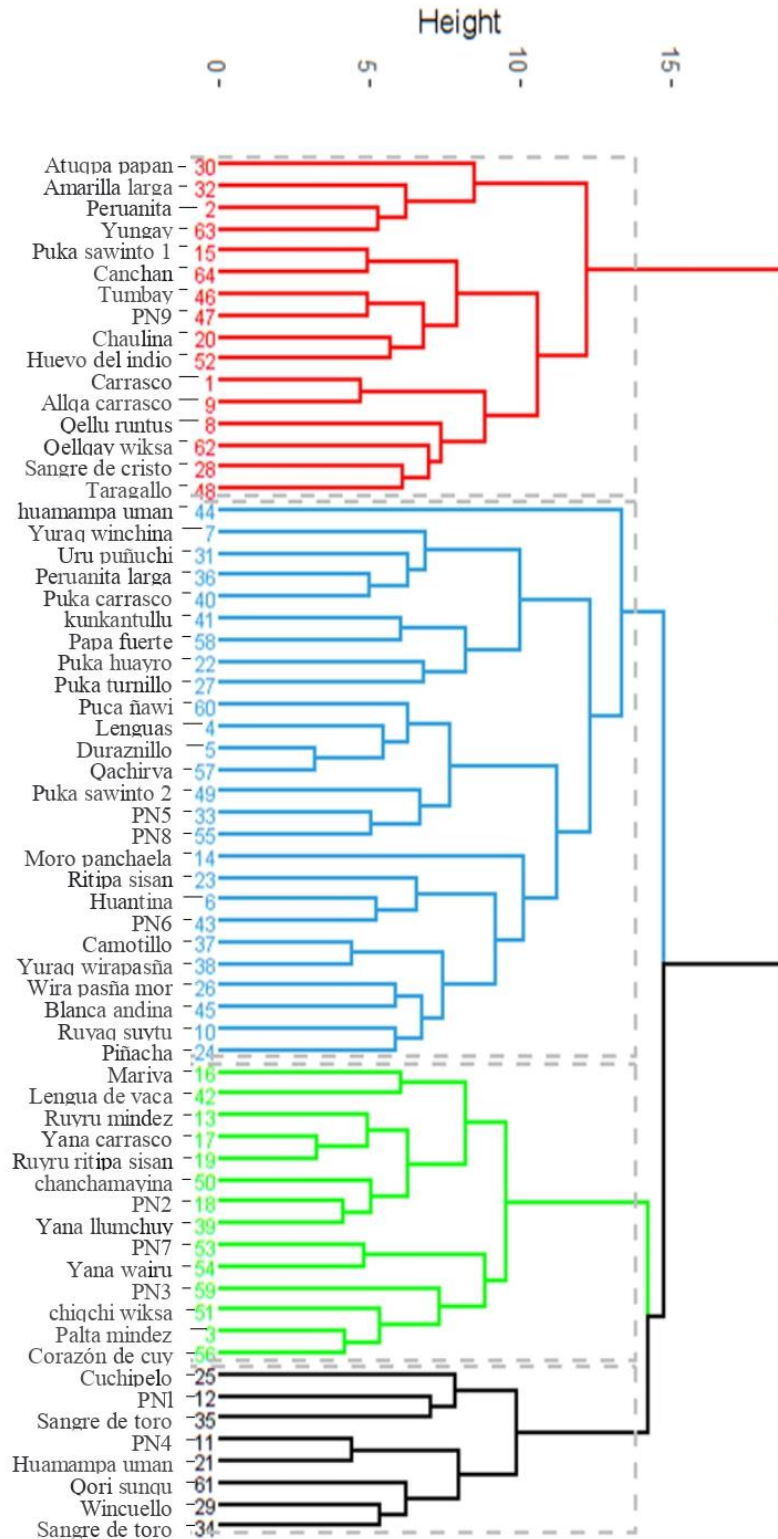


**Figura 3.1.** Índice de codo para determinación de número adecuado de subgrupos, el Clúster adecuado es el 4.

En la Figura 3.2 se muestra dendograma general de las 64 accesiones de papa nativa, en la que se representa a 4 subgrupos con un coeficiente de similitud 13.7%. En el primer subgrupo (rojo) está integrado por 16 accesiones; segundo subgrupo (azul), 26 accesiones;

tercer subgrupo (verde) 14 accesiones y el cuarto subgrupo (negro), 8 accesiones; todos haciendo un total de 64 accesiones. En este resultado, cada subgrupo esta agrupado por similitudes morfológicas, es decir, los que están en el mismo subgrupo, mantienen distancias morfológicas cercanas. Cuando comparamos subgrupos distintos, entre estos la similitud es distante, por ejemplo, Yana Llunchuy waqachi y PN2 en sus características morfológicas son muy parecidas; mientras cuando se ubican en ramas alejados, estas son muy distintos a nivel morfológicos (Yana Llunchuy waqachi y Sangre de toro). En este trabajo de investigación se utilizó como testigo al papa silvestre (Atuqpa Papan), lo cual se ubica en el primer subgrupo, guarda relación cercana con las accesiones amarilla larga, Peruanita y Tumbay, evaluado en condiciones de NIPUH – UNSCH a 2760msnm. Las accesiones mejoradas, Canchan y Yungay se ubican en primer subgrupo; mientras, Mariva se ubican en el tercer subgrupo.

Muñoz (2024), en su estudio que realizo con las 64 accesiones de papa nativa cultivados *in situ*, el agrupamiento fue de 4 grupos donde la papa silvestre (Atuqpa Papan) mantuvo la similitud con Qellu Runtus y Sangre de Cristo; las papas mejoradas como Mariva y canchan presentan similitud al estar agrupados cercanamente. Asimismo Spooner et al. (2005), sostiene que algunas variedades nativas mantienen relación cercana con las papas mejoradas, debido a que evolucionaron a partir a partir de los ancestros silvestres, asimismo a que la papa silvestre y las mejoradas coexisten en el mismo lugar en la zona andina, por esta razón es común que haya hibridación entre ellas.



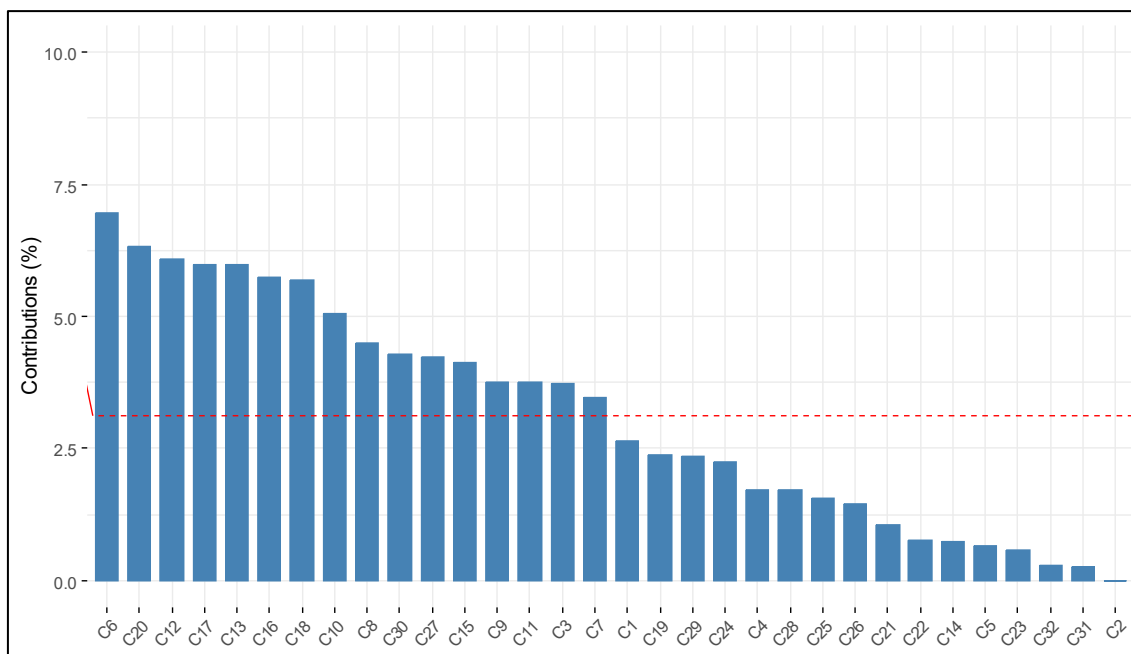
**Figura 3.2.** Dendrograma basada en 32 descriptores morfológicos de 64 accesiones de papa nativa (*Solanum spp.*), cultivados a 2760 msnm.

### 3.2.2 *Análisis de componentes principales (32 descriptores morfológicos)*

En la Tabla 3.12. y Figura 1.5 muestran el porcentaje de contribución de los descriptores en describir la variabilidad morfológica de las 64 accesiones de papa nativa; donde se aprecia que los descriptores C6 (color de tallos), C20 (color predominante de la piel de tubérculo) y C12 (color secundario de la flor) tienen mayor aporte en la variabilidad; mientras, C31 (color secundario de brote) y C2 (tipo de disección de hoja) tienen mínima porcentaje de contribución en la variabilidad de las papas evaluadas.

**Tabla 3.12.** Contribución de los descriptores (componentes) en describir la variabilidad morfológica de las papas.

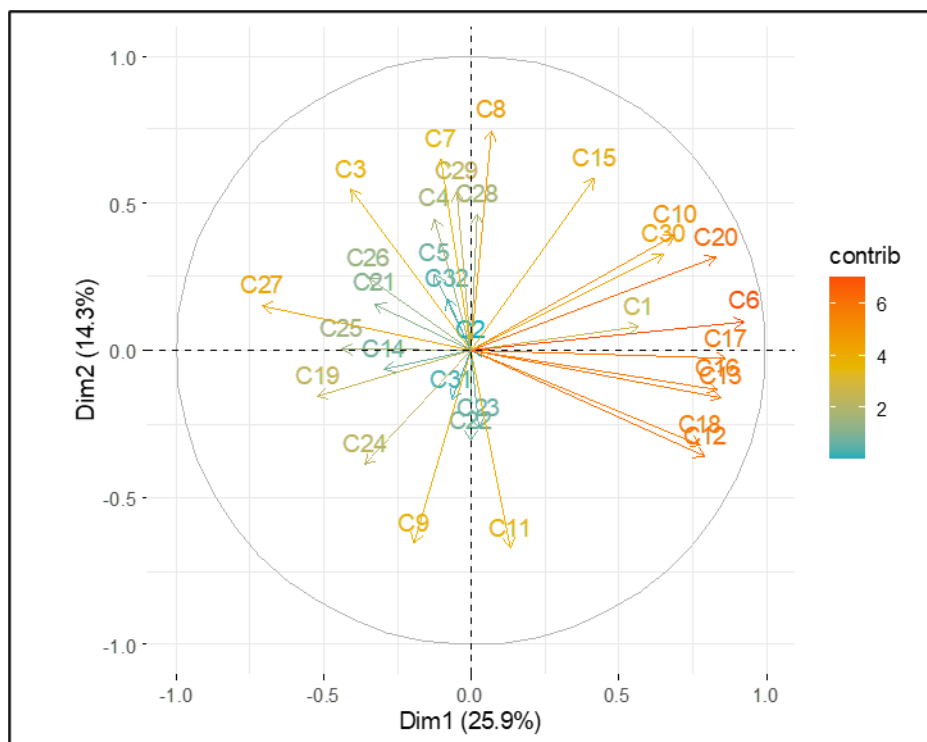
Componentes	Contribución %				
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
C1	3.304	0.408	1.867	1.069	1.782
C2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C3	0.244	10.657	4.941	2.548	2.974
C4	0.442	3.044	7.044	0.414	5.226
C5	0.161	2.886	4.641	0.404	9.711
C6	14.020	0.023	0.350	0.055	0.459
C7	0.078	8.334	0.763	0.615	4.037
C8	1.475	9.241	0.725	0.003	0.023
C9	4.965	6.139	3.736	3.366	1.533
C10	7.426	0.502	0.197	8.271	0.051
C11	0.252	6.454	0.198	5.795	0.000
C12	4.661	5.639	0.441	4.477	0.014
C13	8.629	2.547	1.491	0.315	3.094
C14	0.277	0.002	8.576	0.958	0.952
C15	4.211	5.877	0.139	2.757	0.541
C16	10.245	1.121	2.187	1.835	0.377
C17	11.834	0.064	0.129	2.262	0.455
C18	7.887	2.876	0.311	0.772	2.476
C19	1.405	0.000	0.135	10.388	3.353
C20	10.378	1.419	0.491	1.403	1.632
C21	0.263	1.868	1.584	0.171	1.973
C22	0.000	1.398	20.646	0.574	0.021
C23	0.287	0.203	20.234	1.707	0.217
C24	0.190	0.231	1.169	13.066	2.389
C25	0.656	2.259	7.119	4.323	0.106
C26	1.058	1.121	2.990	9.375	3.143
C27	2.534	5.389	4.181	1.449	0.613
C28	1.256	4.948	0.270	10.663	2.610
C29	0.658	0.129	0.901	9.009	0.372
C30	5.664	1.148	1.597	0.008	6.502
C31	0.000	0.547	0.649	1.261	20.934
C32	0.003	0.744	0.291	0.682	0.140



**Figura 3.3.** Aporte de los descriptores en la variabilidad morfológicos de las papas a 2760 msnm.

En la Figura 3.4 se muestra correlación indirecta de los componentes (C) o descriptores morfológicos de papa nativa. El mayor aporte de los descriptores en la variabilidad se denota en los que están de color intenso naranja y el tamaño de la flecha, tal como lo indica la leyenda de la figura. Mientras, el grado de correlación se denota por el ángulo que forman entre ellos, es decir, entre C12 (color secundario de la flor) y C18 (color de la baya) existe alto grado de correlación; entre C17 (color de pedicelo) y C27 (color predominante de la pulpa de tubérculo) existe bajo grado de correlación.

Estos resultados coinciden con los reportes de Muñoz (2024), quien también encontró que los descriptores C12 (color secundario de la flor), C17, C18 y C20 fueron los que más contribuyen a la variabilidad morfológica en condiciones de 3760 msnm.



**Figura 3.4.** Aporte de los descriptores en la variabilidad de papas y correlación indirecta.

### 3.2.3 *Análisis de correspondencia con caracteres morfológicos (CA)*

En la Figura 3.5 se muestra la correspondencia de las accesiones en plano bidimensional; en estos resultados cada accesión se ubica según la similitud que guardan entre ellos, tal es así, esta figura tiene 4 cuadrantes, en la cual están un grupo de accesiones de papa nativa porque se parecen a nivel morfológico. El testigo T30 (Atuqpa Papan), se aleja relativamente del grupo de papas cultivadas, esto indica que a nivel morfológicos es diferente según los 32 descriptores. Mientras, el resto de las accesiones mejoradas, guardan íntima relación morfológica con las papas cultivadas.

Estos resultados son consistentes con los de Muñoz (2024), quien reporta la accesión T30 (Papa silvestre), se relaciona más con las accesiones T28 (Sangre de Cristo), asimismo la T64 y T63 está alejado de la Papa silvestre.



**Figura 3.5.** Distribución individual de las accesiones en plano bidimensional

En la Figura 3.6 se muestra en el biplot la contribución de los 32 descriptores morfológicos. En este resultado, los componentes o descriptores que guardan ángulo agudo tienen correlación alta (C12 y C13); es decir, a medida que se incrementa los ángulos, disminuyen el grado de correlación entre ellos. Relacionando con la orientación de los componentes o del grupo de descriptores con la ubicación de las accesiones en el biplot de correspondencia (Figura 3.6), indica que ese grupo de accesiones son más semejantes en esos descriptores; por ejemplo: los componentes o descriptores de C9, C22 y C24 se orientan hacia tercer cuadrante, donde se ubican accesiones de Chaulina, Huevo del indio, PN9, Duraznillo, etc., por lo tanto, estas accesiones son más parecidas a nivel de estos descriptores morfológicos.



T46 (Tumbay) y con 145 ddc (máximo) las accesiones T4, T5, T16, T19, T44, T58, T61 y T62 (Tabla 3.13).

Los datos reportados son distintos en estos 4 caracteres de precocidad evaluados *in situ* en la provincia La mar a una altitud de 3760 msnm por Muñoz (2024), quien reportó que la accesión precoz al emergencia fue Atuppa Papan (T30) a 25 dds y la accesión Wairu (T54) emergió a los 40 dds siendo tardío; en cuanto a la floración las accesiones Mariva (T16) a los 66 dds y Atuppa papan (T30) a 140 dds; respecto a días a la cosecha reportó que la accesión T30 se cosechó a los 103 dds y T1 a los 180 dds; finalmente evaluó días después de la cosecha (ddc) hasta el brotamiento en el que resultó la accesión Huevo de Indio (T52) a los 10 ddc y Palta Mindez (T3) a los 52 ddc.

**Tabla 3.13.** DLS de precocidad de 64 accesiones de papa nativa, 2760 msnm.

EMERGENCIA			FLORACIÓN			COSECHA			BROTAMIENTO		
Acc.	Prom.	DSL (0.05)	Acc.	Prom.	DSL (0.05)	Acc.	Prom.	DSL (0.05)	Acc.	Prom.	DSL (0.05)
T15	28	a	T14	70	a	T11	130	a	T4	145	a
T45	26	b	T47	70	a	T12	130	a	T5	145	a
T47	24	c	T60	70	a	T14	130	a	T16	145	a
T46	23	d	T61	68	b	T18	130	a	T19	145	a
T36	22	e	T30	66	c	T20	130	a	T44	145	a
T30	21	f	T44	66	c	T21	130	a	T58	145	a
T54	21	f	T62	64	d	T33	130	a	T61	145	a
T60	21	f	T8	64	d	T43	130	a	T62	145	a
T31	20	g	T24	64	d	T45	130	a	T3	120	b
T49	19	h	T46	64	d	T63	130	a	T17	120	b
T50	19	h	T49	64	d	T2	120	b	T24	120	b
T55	19	h	T10	62	e	T25	120	b	T42	120	b
T56	19	h	T27	60	f	T52	120	b	T26	105	c
T61	19	h	T39	60	f	T1	110	c	T8	87	d
T11	17.5	i	T56	60	f	T3	110	c	T13	87	d
T27	17.5	i	T1	59	g	T6	110	c	T18	87	d
T29	17.5	i	T5	59	g	T8	110	c	T1	83	e
T44	18	i	T6	59	g	T9	110	c	T14	83	e
T57	17.5	i	T7	59	g	T10	110	c	T21	83	e
T58	17.5	i	T36	57	h	T13	110	c	T25	83	e
T62	17.5	i	T48	57	h	T19	110	c	T33	83	e
T9	16.5	j	T52	57	h	T29	110	c	T52	83	e
T5	16.5	j	T38	56	i	T31	110	c	T54	83	e
T28	16.5	j	T41	56	i	T36	110	c	T56	83	e
T33	16.5	j	T57	56	i	T37	110	c	T57	83	e
T37	16.5	j	T4	55	j	T50	110	c	T59	83	e
T38	16.5	j	T13	55	j	T58	110	c	T37	83	e
T39	16.5	j	T16	55	j	T61	110	c	T39	83	e

T40	16.5	j	T17	55	j	T64	110	c	T43	83	e
T41	16.5	j	T18	55	j	T53	100	d	T47	83	e
T52	16.5	j	T19	55	j	T55	100	d	T2	79	f
T53	16.5	j	T25	55	j	T56	100	d	T10	79	f
T59	16.5	j	T26	55	j	T4	100	d	T6	75	g
T63	16.5	j	T28	55	j	T7	100	d	T7	75	g
T1	15	k	T31	55	j	T5	90	e	T49	75	g
T10	15	k	T33	55	j	T15	90	e	T63	75	g
T13	15	k	T40	55	j	T16	90	e	T38	75	g
T14	15	k	T43	55	j	T17	90	e	T40	75	g
T19	15	k	T54	55	j	T22	90	e	T31	70	h
T20	15	k	T55	55	j	T23	90	e	T9	67	i
T21	15	k	T59	55	j	T24	90	e	T11	67	i
T23	15	k	T63	55	j	T26	90	e	T12	67	i
T48	15	k	T2	52	k	T27	90	e	T15	67	i
T64	15	k	T3	52	k	T28	90	e	T20	67	i
T2	13.5	l	T9	52	k	T30	90	e	T22	67	i
T3	13.5	l	T12	52	k	T32	90	e	T23	67	i
T4	13.5	l	T20	52	k	T34	90	e	T27	67	i
T6	13.5	l	T21	52	k	T35	90	e	T28	67	i
T7	13.5	l	T34	52	k	T38	90	e	T29	67	i
T8	13.5	l	T37	52	k	T39	90	e	T30	67	i
T12	13.5	l	T45	52	k	T40	90	e	T32	67	i
T16	13.5	l	T53	52	k	T41	90	e	T34	67	i
T17	13.5	l	T11	51	l	T42	90	e	T35	67	i
T18	13.5	l	T22	51	l	T44	90	e	T36	67	i
T22	13.5	l	T23	51	l	T46	90	e	T41	67	i
T24	13.5	l	T29	51	l	T47	90	e	T45	67	i
T25	13.5	l	T35	51	l	T48	90	e	T48	67	i
T26	13.5	l	T50	51	l	T49	90	e	T50	67	i
T51	13.5	l	T51	51	l	T51	90	e	T51	67	i
T32	12.5	n	T58	51	l	T54	90	e	T53	67	i
T35	11	m	T32	50	n	T57	90	e	T55	67	i
T42	11	m	T42	45	m	T59	90	e	T60	67	i
T43	11	m	T15	SD	o	T60	90	e	T64	67	i
T34	10	o	T64	SD	o	T62	90	e	T46	35	j

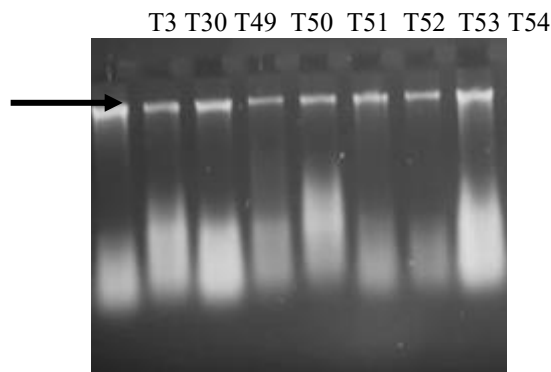
**Tabla 3.14.** Promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de la precocidad de papa nativa, 2760 msnm.

	<b>EMERGENCIA (dds)</b>	<b>FLORACIÓN (dds)</b>	<b>COSECHA (dds)</b>	<b>BROTAMIENTO (ddc)</b>
Promedio	16.35	56.29	103.44	85.77
Máximo	28.00	70.00	130.00	145.00
Mínimo	10.00	45.00	90.00	35.00
Desv. Estándar	3.49	5.64	14.93	26.82

### 3.4 PRUEBA DE PROTOCOLOS DE PCR PARA OBSERVAR EL MARCADOR MOLECULAR DEL GEN *Ry<sub>adg</sub>*, PARA RESISTENCIA AL VIRUS PVY

#### 3.4.1 Resultados de la extracción de ADN

La evaluación de la integridad y pureza del ADN aislado de ocho accesiones de papa nativa se ilustra en la Figura 3.7. La caracterización mediante electroforesis horizontal en gel de agarosa exhibe bandas intensas y definidas en el parte superior señalado con una flecha. La presencia de material fluorescente difuso en la zona inferior de los carriles sugiere contaminación por ARN, consecuencia de la no incorporación de ARNasa en el procedimiento. Los análisis espectrofotométricos determinaron concentraciones de ADN desde 109.40 hasta 1691.10 ng/ $\mu$ L, y ratios de absorbancia A260/A280 entre 1.89 y 2.04, indicativos de una pureza aceptable.



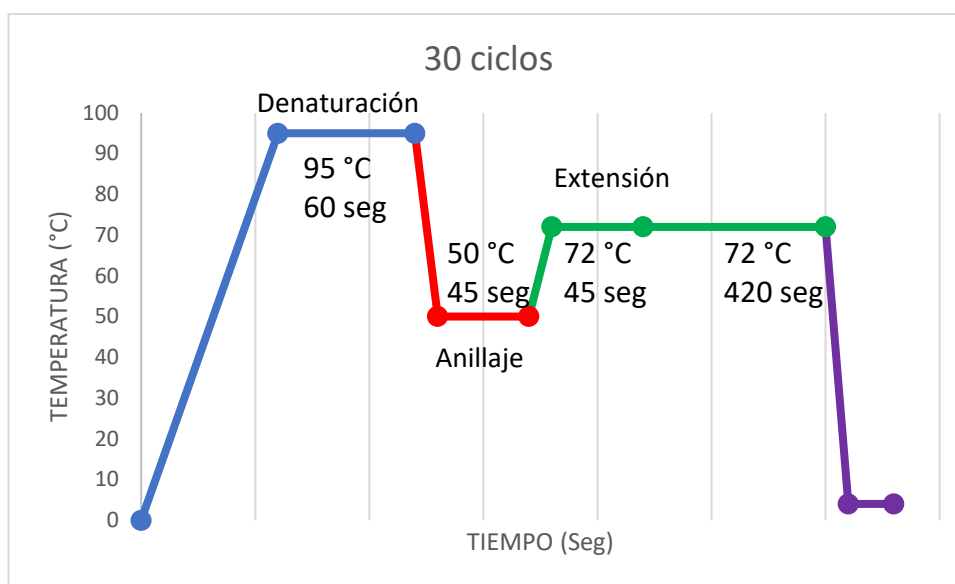
**Figura 3.7.** Extracción de ADN visualizada en gel de agarosa de ocho accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.)

#### 3.4.2 Resultados de las pruebas de PCR para el gen *Ry<sub>adg</sub>*

En la prueba de estandarización de PCR se utilizó el master Mix que se muestra en la Tabla 3.15, el cual fue diseñado utilizando la investigación de Muñoz (2024). En la Fig 3.8 se muestra los ciclos de temperaturas durante el proceso de PCR.

**Tabla 3.15.** Mix de PCR

	[]°	[]f	Volumen 1Rxx	Volumen 9 Rxx
NFW			1.65 uL	14.85 uL
Buffer 5X	5 X	1 X	2 uL	18 uL
MgCl <sub>2</sub>	25 uM	2.5 mM	1 uL	9 uL
DNTPs	10 uM	0.2 mM	0.2 uL	1.8 uL
Forward	10 uM	0.25 uM	0.5 uL	4.5 uL
Reverse	10 uM	0.25 uM	0.5 uL	4.5 uL
taq DNAPolimerasa	5 U/uL	0.075 U/uL	0.15 uL	1.35 uL
DNA	15 ng/uL		4 uL	
			<b>10 uL</b>	<b>90 uL</b>



**Figura 3.8.** Perfil térmico

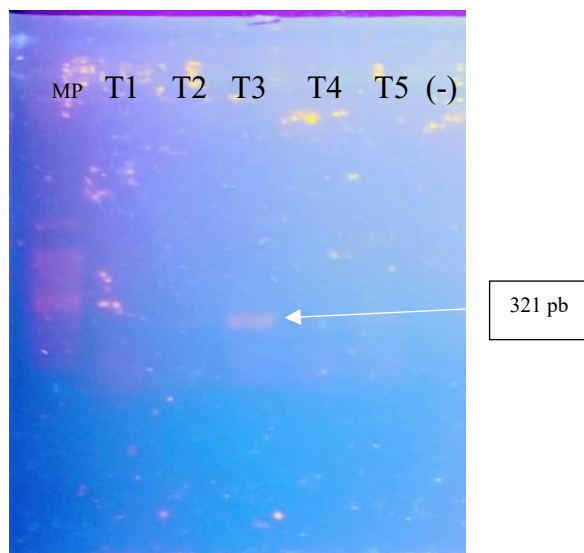
La primera prueba de PCR que se realizó fue con 8 accesiones de papa nativa (Fig. 3.9) donde se incluyó la papa silvestre Atupqa-papan (T30) como control (portador del gen) y resultó mostrando el gen de resistencia la papa nativa Palta-Mindez (T3).



Leyenda: MP, ladder 100 pb. (-) control negativo. T30 (Atuqpa papan), T49 (Puka sawinto 2), T50 (Chanchamayina), T51 (Chiqchi wiksa), T52 (Huevo de indio), T53 (PN7), T54 (Yana huayru) y T3 (Palta mindez).

**Figura 3.9** Foto de la primera prueba de PCR con ocho accesiones de papa nativa portadoras del gen *Ry<sub>adg</sub>*.

Se realizó una segunda prueba del protocolo de PCR con 5 accesiones de papa nativa. El resultado se observa en la Figura 3.10 en donde solo la accesión Palta-mindez (T3) muestra la banda con el marcador RYSC3, reiterando la presencia del gen de resistencia en su genotipo.



Leyenda: MP, Lader marcador de peso molecular (100pb), T1 (Carrasco), T2 (Peruanita), T3 (Palta mindez), T4 (Lenguas) y T5 (Duraznillo), (-) control negativo

**Figura 3.10** Foto de la segunda prueba de PCR con cinco accesiones de papa nativa portadoras del gen *Ry<sub>adg</sub>*

## CONCLUSIONES

1. El estudio realizado con 60 papas nativas, 3 mejoradas (Yungay, Canchan y Mariva) y 1 silvestre (*Solanum* spp.) cultivados a 2760 msnm evidenció una notable variabilidad morfológica, que agruparon mediante un dendograma en cuatro sub-grupos con un coeficiente de similitud 13.7%. Los descriptores que más contribuyeron en describir la variabilidad morfológica de las papas nativas fueron color de los tallos (C6), color predominante del tubérculo (C20), color secundario de la flor (C12), Color de pedicelo (C17), distribución del color secundario de la flor (C13), color del cáliz (C16) y el color de la baya (C18).
2. Las papas nativas (*Solanum* spp.) cultivadas a 2760 msnm mostraron variabilidad, con emergencia a los 10 dds siendo Sangre de Toro macho, T34, floración desde los 45 dds Lengua de Vaca (T42), y cosecha a los 90 las accesiones como T4, T7, T5, entre otras. Además, el brotamiento post-cosecha ocurrió a los 35 ddc la accesión Sangre de Toro (T35) hasta 145 ddc, evidenciando diferencias significativas en el ciclo de desarrollo entre accesiones.
3. El mix de PCR para amplificar el gen *Ry<sup>adg</sup>* de las papas que da resistencia contra el virus Y (PVY), mediante el marcador RySC3, el volumen total de 10uL:2uL de Buffer 5X; 1uL de MgCl<sub>2</sub> (25uM); 0.2uL de dNTPs (10uM); 0.5uL de primer; 0.15uL de Taq ADN polimerasa; y 4uL de ADN y los ciclos de temperatura son: denaturación inicial 95°C por 2 minutos: 30 ciclos de denaturación 95°C por 60 segundos, temperatura de annealing 50°C por un tiempo de 45 segundos, extensión 72°C por 45 segundos; y extensión final 72°C por 7 minutos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar la evaluación de las 64 accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.), con el protocolo molecular evaluado en esta investigación y seleccionar las accesiones con gen *Ryadg* para resistencia al virus PVY. Esta selección permitirá identificar y priorizar accesiones con potencial para programas de mejoramiento genético, enfocados a desarrollar variedades resistentes al virus PVY.
2. Es fundamental realizar pruebas de inoculación del virus PVY en las accesiones seleccionadas, tanto en ambientes controlados (invernadero o laboratorio) como en condiciones de campo, esto permitirá confirmar la resistencia observado a nivel molecular y evaluar la respuesta fenotípica de la planta frente al virus.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abriata, L. A., Aguilar, O. M., Almasia, N., Emiliano, A., Sebastian, A., Ariel, B., Paula, B., Maria, B., Fernando, B. A., Mariano, B., Moises, B., Susana, C., Fernando, C., Alicia, C., Nestor, C., Paula, C., Atilio Pedro, C., Gerardo. D, C., Nadia, C., ...Noga, Z. (2011). *Biología y Mejoramiento Vegetal II* (G. Levituz, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski (eds.); 2nd ed.). INTA. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/BiologiyMejoramientovegetalII.pdf>
- Cadima, X., Veramendi, S., & Gabriel, J. (2013). Uso de marcadores moleculares microsatélite para el análisis de la diversidad genética de papa nativa de Bolivia. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 4(1), 18-30. *Of the Selva Andina Research Society* 18-30.
- Chen, S., Torza, T., Byun, B., Coffin, R., Coffin, J, Peters, R., and Wang-Pruski, G. 2017. “DNA Markers for Selection of Late Blight Resistant Potato Breeding Lines.” *American Journal of Plant Sciences* 08(06):1197–1209. doi:10.4236/ajps.2017.86079.
- Comité de Agricultura (COAG). 2022. “Propuesta Para Un Día Internacional de La Papa.” 1–4.
- Delgado, A. 2006. “Uso De Marcadores Moleculares En Plantas; Aplicaciones En Frutales Del Trópico.” *Agronomía Meso Americana* 17(2):221–46.
- De la Cruz, G., Miranda, T.Y., Blas, R.H., Neyra E and Orjeda G. 2020. Simple Sequence Repeat-Based Genetic Diversity and Analysis of Molecular Variance among on-Farm Native Potato Landraces from the Influence Zone of Camisea Gas Project, Northern Ayacucho, Peru. *Am. J. Potato Res.* 97, 143–161 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09763-7>
- Gómez, R. 2004. “Guía Para Las Caracterizaciones Morfológicas Básicas En Colecciones de Papas Nativas. Introducción.” *Centro Internacional de La Papa (CIP)* 1(December):28.
- De Haan, S., Nñez J., Bonierbale M., and Ghislain M. 2010. “Multilevel Agrobiodiversity and Conservation of Andean Potatoes in Central Peru: Species, Morphological, Genetic, and

Spatial Diversity.” *Mountain Research and Development* 30(3):222–31. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00020.1.

Huaman, Z. 2008. *Discriptores Morfológicos de La Papa (Solanum Tuberosum L.)*. edited by CCBAT. Lima, Perú: Producciones Gráficas s.l.

Inostroza, J. 2009. *Manual de Papa Para La Araucanía: Manejo y Plantación*.

Kasai, K., Morikawa, Y., Sorri, V. A., Valkonen, J. P., Gebhardt, C., & Watanabe, K. N. (2000). Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ry<sub>adg</sub>* based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome* 43(1):1–8. doi:10.1139/g99-092.

Lorenzen, J., Meacham, T., Berger, P. et al. Whole genome characterization of Potato virus Y isolates collected in the western USA and their comparison to isolates from Europe and Canada. *Arch Virol* 151, 1055–1074 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00705-005-0707-6>

Muñoz, R. 2024. *Caracterización y Selección Molecular de Acciones de Papas Nativas (Solanum Spp.) Con Genes Para Resistencia a Phytophthora Infestans, La Mar, Ayacucho, 2022*.

Pumisacho, M., and Sherwood, S. 2002. *El Cultivo de Papa En Ecuador*. INIAP-CIP.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). *La papa: Alimento básico en la dieta mundial*. FAO. <https://www.fao.org/potato-2008/es/>.

Sagredo D, Boris, Mathias R, Mónica, Barrientos P, Claudia, Acuña B, Ivette, Kalazich B, Julio, & Santos Rojas, José. (2009). Evaluation of a SCAR RYSC3 Marker of the *Ry<sub>adg</sub>* Gene to Select Resistant Genotypes to Potato Virus Y (PVY) in the INIA Potato Breeding Program. *Chilean journal of agricultural research*, 69(3), 305-315. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000300002>.

Salazar, L. F. 1971. *Los Virus de La Papa y Su Control*. edited by Centro Internacional de la Papa (CIP).

Śliwka, J., H. Jakuczun, P. Kamiński, and E. Zimnoch-Guzowska. 2010. “Marker-Assisted Selection of Diploid and Tetraploid Potatoes Carrying *Rpi-Phul*, a Major Gene for

- Resistance to *Phytophthora infestans*.” *Journal of Applied Genetics* 51(2):133–40. doi:10.1007/BF03195721.
- Solomon-Blackburn, R. M., and H. Barker. 2001. “A Review of Host Major-Gene Resistance to Potato Viruses X, Y, A and V in Potato: Genes, Genetics and Mapped Locations.” *Heredity* 86(1):8–16. doi:10.1046/j.1365-2540.2001.00798.x.
- 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*. Vol. 102. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507400102>
- Stefańczyk, E., Sobkowiak, S., Brylińska, M., & Śliwka, J. (2017). Expression of the Potato Late Blight Resistance Gene Rpi-phu1 and *Phytophthora infestans* Effectors in the Compatible and Incompatible Interactions in Potato. *Phytopathology*, 107(6), 740–748. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-16-0328-R>
- Tamay de Dios, L., C. Ibarra, and C. Velasquillo. 2013. “Fundamentos de La Reacción En Cadena de La Polimerasa (PCR) y de La PCR En Tiempo Real.” *Instituto Nacional de Rehabilitación (INR)* 2:70–79.
- Rodríguez, L (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum L. sect. Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316242003.pdf>.
- Valkonen J. P. (2015). Elucidation of virus-host interactions to enhance resistance breeding for control of virus diseases in potato. *Breeding science*, 65(1), 69–76. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.69>
- Wang, M., Allefs, S., van den Berg, R. G., Vleeshouwers, V. G., van der Vossen, E. A., & Vosman, B. (2008). Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of Rpi-blb1 are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics* 116(7):933–43. doi:10.1007/s00122-008-0725-3.
- Whitworth, Jonathan L., Richard G. Novy, Darren G. Hall, James M. Crosslin, and Charles R. Brown. 2009. “Characterization of Broad Spectrum Potato Virus Y Resistance in a *Solanum Tuberosum* Ssp. *Andigena*-Derived Population and Select Breeding Clones

Using Molecular Markers, Grafting, and Field Inoculations.” *American Journal of Potato Research* 86(4):286–96. doi:10.1007/s12230-009-9082-2.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Caracterización morfológica de las accesiones de papa nativa, cultivadas a 2760 msnm













TRAT	VARIETADES	HABITO DE CRECIMIENTO				FORMA DE HOJA				COLOR DE TALLOS	FORMA DE ALAS DE TALLOS	GRADO DE FLOREACIÓN	FORMA DE LA COROLA	COLOR DE LA FLOR				PIGMENTACIÓN EN ANTERAS	PIGMENTACIÓN EN EL ESTILO	COLOR DEL CALZ	COLOR DEL PEDICEL	COLOR DE LA BAYA	FORMA DE LA BAYA	COLOR DE PIEL DE TUBERCULO				FORMA DEL TUBERCULO			COLOR DE LA PULPA DEL TUBERCULO			COLOR DEL BROTE		
		TIPO DE DISECCIÓN	Nº DE FOLICULOS LATERALES	Nº INTER-HOJUELAS ENTRE FOLICULOS LATERALES	Nº INTER-HOJUELAS SOBRE PECIOLUS LATERALES	COLOR PREDOMINANTE	INTENSIDAD DE COLOR PREDOMINANTE	COLOR SECUNDARIO	DISTRIBUCIÓN DEL COLOR SECUNDARIO					COLOR PREDOMINANTE	INTENSIDAD DE COLOR PREDOMINANTE	COLOR SECUNDARIO	DISTRIBUCIÓN DEL COLOR SECUNDARIO							FORMA GENERAL	VARIANTE DE FORMA	PROFUNDIDAD DE CUDOS	COLOR PREDOMINANTE	COLOR SECUNDARIO	DISTRIBUCIÓN DE COLOR SECUNDARIO	COLOR PREDOMINANTE	COLOR SECUNDARIO	DISTRIBUCIÓN DE COLOR SECUNDARIO				
																																	1	2	3	4
1	Carrasco	3	3	4	2	0	1	2	5	3	1	1	0	0	0	0	1	1	3	1	3	3	0	0	1	0	7	2	0	0	1	2	1			
2	Peruanita	2	3	5	1	1	2	1	5	7	7	1	0	0	0	0	5	8	6	2	2	3	7	4	1	0	5	4	0	0	2	1	4			
3	Palta mindez	4	3	4	2	1	6	1	5	3	7	3	1	9	0	3	5	6	7	1	8	3	2	5	3	0	3	1	0	0	1	5	2			
4	Lenguas	4	3	4	1	0	2	1	5	3	7	3	1	8	0	0	2	2	1	1	2	2	0	0	4	6	5	3	0	0	1	2	1			
5	Duraznillo	3	3	4	1	0	2	2	5	3	7	3	1	9	0	0	5	3	3	3	7	2	0	0	2	0	5	2	0	0	4	1	5			
6	Huantina	3	3	3	1	0	5	2	5	3	8	1	1	9	0	3	5	8	2	3	9	2	7	3	1	0	5	1	7	1	1	5	3			
7	Yuraq winchina	4	3	5	2	1	2	1	5	1	8	2	1	7	0	0	2	8	1	3	2	2	8	1	4	1	3	2	0	0	1	5	5			
8	Ollu runtus	3	3	3	1	0	1	1	5	3	8	1	0	0	0	0	1	1	2	7	3	3	0	0	4	8	3	5	0	0	1	0	0			
9	Allca carrasco	4	3	4	2	0	1	3	7	5	1	2	0	0	0	0	1	1	1	1	5	3	7	1	2	0	5	1	0	0	1	2	5			
10	Ruyaq suntu	4	3	4	1	0	3	1	5	5	8	1	1	9	0	0	5	8	2	1	7	1	8	1	8	0	3	1	0	0	1	0	0			
11	PN4	4	3	4	2	0	5	3	5	3	8	1	6	8	0	3	5	8	6	1	6	3	0	0	3	9	7	5	7	1	4	2	3			
12	PNI	3	3	6	2	1	5	1	7	3	8	1	0	0	0	0	4	8	4	3	7	2	0	0	8	4	3	7	2	6	4	1	5			
13	Ruyru mindez	4	3	5	2	0	5	1	5	3	8	1	1	9	0	3	5	8	5	1	9	2	1	4	1	0	5	1	0	0	5	1	2			
14	Moro panchaela	4	3	3	1	0	6	1	5	3	5	7	3	1	0	0	2	6	5	1	9	2	8	2	6	8	3	1	8	1	5	1	3			
15	Puka sawinto I	2	3	5	1	0	2	2	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	3	0	0	1	0	3	4	0	0	1	4	5			
16	Mariva	4	3	4	2	1	3	3	5	3	6	3	1	8	0	0	2	5	5	1	9	2	8	5	6	0	1	4	0	0	5	1	3			
17	Yana carrasco	4	3	4	2	0	6	3	3	3	8	1	1	3	0	3	6	8	6	1	9	3	0	0	1	0	3	3	0	0	4	1	3			
18	PN2	4	3	4	1	0	6	1	5	3	7	3	1	9	0	0	4	8	7	1	6	2	0	0	4	0	3	2	0	0	4	1	2			
19	Ruyru ritipa s	4	3	4	2	0	5	3	5	3	8	2	1	3	0	3	5	8	5	3	8	3	2	4	1	0	3	3	0	0	5	1	1			
20	Chaulina	3	3	3	1	0	2	1	3	7	1	3	6	7	0	0	2	1	6	3	2	2	0	0	4	2	3	4	0	0	1	5	5			
21	Huamampa uman	3	3	4	2	0	4	1	5	5	7	2	1	2	0	3	5	8	5	1	6	3	0	0	6	9	7	5	7	1	4	1	3			
22	Puka huaru	3	3	5	0	0	3	1	5	5	3	1	1	3	0	0	5	8	4	3	6	2	5	4	5	8	5	4	7	2	1	4	5			
23	Ritipa sisan	2	3	3	1	0	5	1	5	7	6	3	1	9	0	0	5	4	4	3	9	2	4	5	3	3	1	1	8	1	1	5	3			
24	Pinacha	4	3	4	2	0	5	1	5	5	8	2	1	3	0	3	4	2	5	1	9	1	0	0	7	0	1	1	0	0	5	1	2			
25	Cuchipelo	4	3	4	2	0	5	3	7	3	8	1	1	3	0	3	2	6	5	3	9	3	2	5	1	9	3	8	1	7	1	5	3			
26	Wiara pestha mo	4	3	4	2	0	5	3	7	5	8	1	1	9	0	3	5	8	2	1	8	2	2	6	5	4	3	1	0	0	1	4	1			
27	Puca tumillo	4	3	5	2	0	2	2	5	3	1	1	0	0	0	3	1	1	1	7	6	2	0	0	5	8	5	2	7	1	1	2	5			
28	Sangre d cristo	4	3	4	2	1	2	1	3	5	1	3	0	0	0	3	2	4	1	3	6	3	0	0	5	2	3	6	2	3	1	0	0			










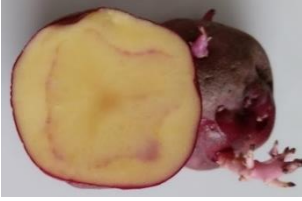


29	Wincuello	3	3	4	2	0	3	3	7	3	6	2	1	9	0	3	7	8	6	3	9	3	0	0	5	3	3	3	8	2	5	1	5	
30	Atuqa papan	2	3	3	1	0	5	0	3	3	6	3	8	4	0	0	6	8	7	3	1	1	0	0	1	1	3	1	0	0	1	0	0	
31	Uru puñuchi	4	3	4	2	1	1	3	5	1	7	2	1	9	0	0	1	6	2	4	2	3	0	0	8	4	3	1	0	0	1	0	0	
32	Amarilla larga	1	3	4	1	1	2	0	3	5	6	2	0	0	0	0	5	5	6	3	2	2	0	0	5	8	5	5	0	0	1	0	0	
33	PN5	4	3	5	1	1	6	2	5	3	7	3	1	9	0	0	5	8	5	1	6	3	0	0	2	0	7	1	0	0	1	4	3	
34	Sangre toro ma	4	3	4	2	0	3	2	7	3	7	2	6	8	0	3	3	5	6	1	6	2	0	0	4	2	1	4	7	5	4	2	2	
35	Sangre de toro	4	3	5	0	2	4	3	7	3	7	2	1	3	0	3	5	4	2	2	7	2	0	0	4	2	3	4	7	5	1	4	3	
36	Peruanita larga	4	3	5	3	1	2	3	5	3	7	1	1	9	0	3	2	4	6	4	2	2	6	4	4	2	3	1	7	2	1	0	0	
37	Camotillo	4	3	4	2	0	3	1	5	7	6	3	7	9	0	0	3	8	6	3	5	3	7	6	7	3	3	3	0	0	1	0	0	
38	Yuraq wicapash	4	3	3	2	0	2	1	5	7	8	1	6	9	0	0	5	8	4	1	5	3	7	1	5	4	3	1	0	0	1	2	1	
39	Yana llumchuy	4	3	4	1	1	6	2	5	3	8	2	6	9	0	0	6	8	7	1	9	2	0	0	1	0	3	1	0	0	5	0	0	
40	Puka carrasco	4	3	5	3	1	2	2	5	3	6	2	1	8	0	0	2	2	3	1	5	3	7	6	2	0	3	2	0	0	1	0	0	
41	Kunkantullo	4	3	5	2	0	2	1	5	1	1	3	0	0	0	3	2	1	2	3	6	2	5	6	7	0	5	3	7	1	1	0	0	
42	Lengua de vaca	3	3	5	2	1	6	2	5	7	1	2	0	0	0	0	5	8	7	1	9	2	5	2	4	0	3	3	0	0	5	1	1	
43	PN6	4	3	4	2	0	3	1	5	3	7	3	6	8	0	3	5	8	5	3	7	1	2	1	2	0	5	1	7	1	1	4	1	
44	Humampa uman2	3	3	5	2	1	2	3	5	1	6	3	1	4	2	0	2	6	...	...	2	1	8	6	3	0	3	3	0	0	1	4	3	
45	Blanca andina	3	3	4	3	0	2	1	5	5	7	3	1	8	0	3	6	8	2	3	5	3	0	0	7	4	3	3	0	0	1	2	1	
46	Tumbay	4	3	4	0	0	1	3	3	5	7	2	1	3	0	0	2	1	2	2	3	3	0	0	6	0	3	5	0	0	1	3	3	
47	PN9	3	3	4	1	0	1	2	3	5	1	2	3	7	0	2	2	2	2	3	6	3	3	4	7	0	3	2	0	0	1	4	3	
48	Taragallo	4	3	4	2	1	1	2	3	5	1	3	0	0	0	0	5	1	5	7	4	2	0	0	4	2	3	3	0	0	1	5	1	
49	Puka sawinto 2	3	3	5	2	1	2	2	7	3	8	1	1	2	0	0	5	7	2	1	6	3	0	0	2	9	7	2	0	0	1	2	1	
50	Chanamayina	4	3	4	2	1	6	1	5	3	8	2	6	8	0	3	5	8	7	3	9	3	0	0	1	0	3	3	0	0	5	1	5	
51	Chiqchi wiksa	4	3	4	2	1	5	2	5	5	7	3	6	8	0	0	7	8	6	5	7	2	3	6	5	0	3	1	2	3	1	4	5	
52	Huevo de indio	4	3	4	2	0	2	1	3	5	1	2	6	5	0	0	3	1	7	7	4	3	8	6	7	3	3	3	0	0	1	5	5	
53	PN7	4	3	4	1	1	7	3	5	5	7	3	6	8	0	0	7	8	6	7	8	3	0	0	4	3	3	2	3	3	5	1	1	
54	Yana huayru	4	3	4	2	1	5	1	5	5	5	3	8	8	0	3	5	8	7	5	9	3	0	0	4	2	1	1	8	2	5	0	0	
55	PN8	4	3	4	1	0	6	2	7	3	7	2	1	8	0	0	6	8	5	1	7	1	0	0	6	0	5	2	0	0	1	4	1	
56	Corazon de cuy	4	3	4	2	1	6	1	5	3	7	3	8	8	0	3	6	8	7	1	9	2	8	5	6	0	3	2	0	0	1	5	3	
57	Duchurva	4	3	4	1	0	3	2	5	5	7	2	1	8	0	0	5	4	2	1	6	3	0	0	1	0	5	2	0	0	4	1	3	
58	Papa fuerte	3	3	5	2	1	3	1	5	1	6	2	1	8	0	5	3	6	2	3	8	2	7	5	4	0	3	1	8	1	5	1	3	
59	PN3	5	3	5	2	1	7	1	5	3	8	1	1	9	0	3	7	8	7	7	4	3	8	6	7	0	3	1	0	0	5	1	2	
60	Puka hawi	4	3	4	2	1	2	2	5	3	8	1	1	2	0	0	2	3	1	2	8	3	0	0	2	0	3	1	2	3	5	1	5	
61	Dorisunqu	3	3	5	3	1	5	3	5	1	7	2	6	9	0	3	5	3	5	1	7	2	0	0	1	0	3	5	7	1	1	2	3	
62	Dellqay Wiksa	2	3	5	2	1	5	2	7	7	1	2	0	0	0	0	1	1	1	7	4	3	0	0	6	0	3	4	0	0	4	1	2	
63	Yungay	1	3	5	2	1	1	1	5	3	6	2	0	0	0	0	5	4	2	3	2	2	7	4	1	0	3	5	0	0	1	0	0	
64	Canchan	4	3	4	1	0	1	1	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	1	0	0	1	0	3	4	0	0	4	2	5















**Anexo 2.** Datos de caracteres de precocidad de las 64 accesiones de papa nativa, provenientes de Virgen de Cocharcas de Cochabamba y cultivadas a 2760 msnm, Ayacucho.















TRAT	ENTRADA/ ACCESIONES	Días a la emergencia		Días a la floración		Días a la madurez de		Días al brotamiento	
		Y1	Y2	Y1	Y2	Y3	Y4	Y1	Y2
T21	Huamampa uman	15	22	52	52	130	130	83	83
T22	Puka huaru	12	25	49	52	90	90	67	67
T23	Ritipa sisan	15	22	49	62	90	90	67	67
T24	Piñacha	12	24	62	66	90	90	153	153
T25	Cuchipelo	15	12	57	52	130	130	83	83
T26	Wiara pasña morado	22	12	52	57	90	90	135	135
T27	Puca tumillo	20	12	62	57	90	90	67	67
T28	Sangre de cristo	18	22	57	52	90	90	67	67
T29	Wincuello	20	15	52	49	110	110	67	67
T30	Atuqpa papan	...	21	...	66	...	90	67	67
T31	Uru puñuchi	20	20	55	55	110	110	70	70
T32	Amarilla larga	10	18	47	57	90	90	67	67
T33	PN5	18	12	57	52	130	130	83	83
T34	Sangre de toro macho	10	10	52	52	90	90	67	67
T35	Sangre de toro	10	12	49	52	90	90	67	67
T36	Peruanita larga	...	22	62	57	110	110	67	67
T37	Camotillo	15	22	49	57	110	110	83	83
T38	Yuraq wicapasña	15	22	55	57	90	90	75	75
T39	Yana llumchuy waq	18	20	62	57	90	90	153	153
T40	Puka carrasco	15	18	52	58	90	90	75	75
T41	Kunkantullo	22	15	57	58	90	90	67	67
T42	Lengua de vaca	12	10	47	45	90	90	153	153
T43	PN6	12	10	52	57	130	130	83	83
T44	Humampa uman 2	...	18	...	66	90	90	180	180
T45	Blanca andina	28	24	52	...	90	130	67	67
T46	Tumbay	22	24	62	66	90	90	35	35
T47	PN9	...	24	...	70	90	90	83	83
T48	Taragallo	12	18	57	...	90	90	67	67
T49	Puka sawinto 2	20	10	55	66	90	90	75	75
T50	Chanchamayina	20	12	52	49	90	130	67	67
T51	Chiqchi wiksa	15	12	52	49	90	90	67	67
T52	Huevo de indio	15	18	62	57	110	130	83	83
T53	PN7	15	18	52	52	90	110	67	67
T54	Yana huayru	20	22	52	57	90	90	83	83
T55	PN8	18	20	52	57	110	90	67	67
T56	Corazon de cuy	18	20	52	62	110	90	83	83
T57	Quchurva	20	10	57	55	90	90	83	83
T58	Papa fuerte	20	12	52	49	10	110	180	180
T59	PN3	18	15	57	52	90	90	83	83
T60	Puka ñawi	22	20	70	66	90	90	67	67
T61	Qorisunqu	20	18	68	68	110	110	180	180
T62	Qellqay Wiksa	20	15	57	66	90	90	170	170
T63	Yungay	15	18	52	57	110	130	75	75
T64	Canchan	15	15	...	...	110	110	67	67















**Anexo 3.** Catálogo de fotos de hojas y tubérculo de las accesiones de papa nativa















TRAT	ACCESIONES	hojas		tubérculo	
					2
T1	Carrasco				
T2	Peruanita				
T3	Palta mindez				
T4	Lenguas				
T5	Duraznillo				
T6	Huantina				















T7	Yuraq winchina		
T8	Qellu runtus		
T9	Allqa carrasco		
T10	Ruyaq suntu		
T11	PN4		
T12	PN1		













T13	Ruyru mindez		
T14	Moro panchaela		
T15	Puka sawinto 1		
T16	Mariva		
T17	Yana carrasco		
T18	PN2		
T19	Ruyru ritipa sisay		















T20	Chaulina		
T21	Huamampa uman		
T22	Puka huaru		
T23	Ritipa sisan		
T24	Piñacha		
T25	Cuchipelo		
T26	Wiara pasña morado		









T27	Puca tumillo		
T28	Sangre de cristo		
T29	Wincuello		
T30	Atuqpa papan		
T31	Uru puñuchi		
T32	Amarilla larga		
T33	PN5		

T34	Sangre de toro macho		
T35	Sangre de toro		
T36	Peruanita larga		
T37	Camotillo		
T38	Yuraq wicapasña		
T39	Yana llumchuy waqachi		
T40	Puka carrasco		

T41	Kunkantullo		
T42	Lengua de vaca		
T43	PN6		
T44	Humampa uman 2		
T45	Blanca andina		
T46	Tumbay		
T47	PN9		

T48	Taragallo		
T49	Puka sawinto 2		
T50	Chanchamayina		
T51	Chiqchi wiksa		
T52	Huevo de indio		
T53	PN7		

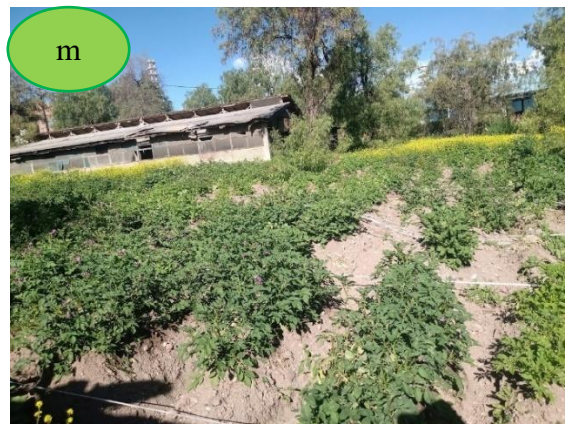
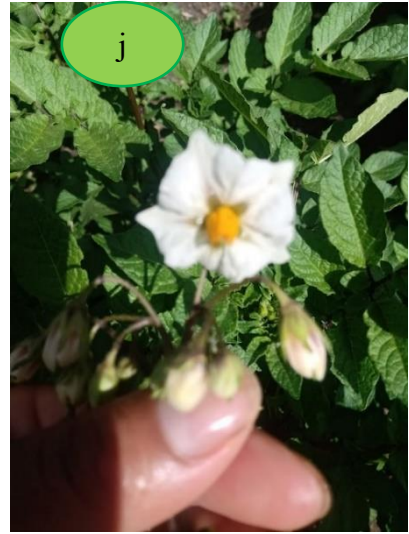
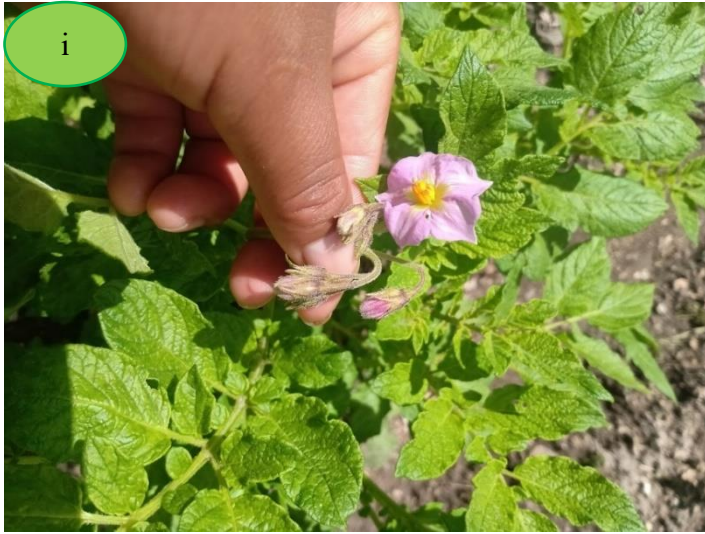
T54	Yana huayru		
T55	PN8		
T56	Corazon de cuy		
T57	Quchurva		
T58	Papa fuerte		
T59	PN3		
T60	Puka ñawi		

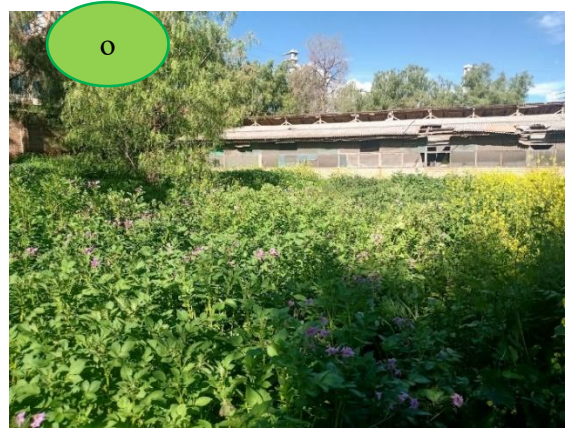
T61	Qorisunqu		
T62	Qellqay Wiksa		
T63	Yungay		
T64	Canchan		

**Anexo 4. Catálogo de fotos del proceso de ejecución de la tesis**












**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bach. ROSALIA YARCURI AROTOMA****R.D. N° 157-2025-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los ocho días del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por la Dr. Rolando Bautista Gómez, Ph.D. Germán Fernando De La Cruz Lapa como asesor, M.Sc. Walter Augusto Mateo Mateu y el M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Variabilidad morfológica, precocidad y protocolo de PCR para el gen Ryadg de papas nativas (*Solanum spp.*) cultivados a 2760 msnm, Ayacucho-2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma, presentado por la Bachiller **ROSALIA YARCURI AROTOMA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Rolando Bautista Gómez	16	17	17	17
Ph.D. Germán Fernando De La Cruz Lapa	18	18	19	18
M.Sc. Walter Augusto Mateo Mateu	15	15	16	15
M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino	15	14	15	15
<b>PROMEDIO GENERAL</b>				<b>16</b>

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

  
.....  
**Dr. Rolando Bautista Gómez**  
*Presidente*  
.....  
**Ph.D. Germán Fernando De La Cruz Lapa**  
*Asesor*  
.....  
**M.Sc. Walter Augusto Mateo Mateu**  
*Jurado*  
.....  
**M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino**  
*Jurado*  
.....  
**Mtro. Rodolfo Alca Mendoza**  
*Secretario Docente*

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRARIAS

## CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

### **Variabilidad morfológica, precocidad y protocolo de PCR para el gen $Ry_{adg}$ de papas nativas (*Solanum spp.*) cultivados a 2760 msnm, Ayacucho-2024**

Autor : Rosalia Yarcuri Arotoma  
Asesor : German De La Cruz Lapa

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **diecinueve (19 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

**Nota:** Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2718510131

Ayacucho, 21 de julio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú  
Coordinador de Control de Originalidad de

Variabilidad morfológica,  
precocidad y protocolo de PCR  
para el gen Ryadg de papas  
nativas (*Solanum* spp.)  
cultivados a 2760 msnm,  
**Ayacucho-2024**  
*por* Rosalia Yarcuri Arotoma

---

**Fecha de entrega:** 21-jul-2025 09:54a. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2718510131

**Nombre del archivo:** TESIS-ROSALIAYARCURI\_21\_07\_25.docx (14.97M)

**Total de palabras:** 16865

**Total de caracteres:** 75020

# Variabilidad morfológica, precocidad y protocolo de PCR para el gen Ryadg de papas nativas (*Solanum spp.*) cultivados a 2760 msnm, Ayacucho-2024

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	11%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	orcid.org Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%

---

9

repositorio.inia.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

---

10

link.springer.com

Fuente de Internet

<1 %

---

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

# **Variabilidad morfológica, precocidad y protocolo PCR para el gen *Ry<sub>adg</sub>* de papas nativas (*Solanum spp.*) cultivados a 2760 msnm, Ayacucho-2024.**

Rosalía Yarcuri Arotoma; German De La Cruz Lapa

Área de investigación: Biotecnología,

Línea de investigación: Mejoramiento Genético Agropecuario

Grupo de Investigación: Genética. Genómica, Metabolómica y Biotecnología en Cultivos Andinos (GMBCA)

[rosalia.yarcuri.01@unsch.edu.pe](mailto:rosalia.yarcuri.01@unsch.edu.pe)

[german.delacruz@unsch.edu.pe](mailto:german.delacruz@unsch.edu.pe)

## **RESUMEN**

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la variabilidad morfológica, precocidad del germoplasma de papas nativas (*Solanum spp.*) de la provincia La Mar (Ayacucho) cultivados a 2760 msnm. y probar protocolos PCR para observar el gen *Ry<sub>adg</sub>*, de resistencia al virus PVY mediante el marcador molecular RySC3, con el fin de conocer su potencial para programas de mejoramiento genético. Se utilizaron 32 descriptores morfológicos, así como características de precocidad (días a emergencia, floración, cosecha y dormancia).

Los resultados mostraron una amplia variabilidad morfológica entre las accesiones, agrupándose en cuatro subgrupos según similitudes en características como forma y color de tubérculos, hábito de crecimiento y floración. El análisis de componentes principales reveló que los descriptores C6, C12 y C20 fueron los que más contribuyeron a la variabilidad morfológica. Además, se identificaron accesiones precoces, como T34 (Sangre de toro macho), que emergió a los 10 días, y accesiones tardías, como T15 (Puka sawinto 1), que emergió a los 28 días. La comparación con estudios previos, como el de Muñoz (2024), realizado a 3760 msnm, evidenció diferencias en la expresión de caracteres morfológicos y en la precocidad de las accesiones, lo cual sugiere una fuerte influencia de las condiciones ambientales, como la altitud y la temperatura. Se logró estandarizar un protocolo de PCR mediante el marcador RySC3, relacionado con el gen de resistencia al virus Y de la papa, con condiciones óptimas de 95°C denaturación (60 seg), 50°C annealing (45 seg) y 72°C extensión (45 seg), con 30 ciclos.

**Palabras claves:** Papa Nativa, Caracterización morfológica, estandarización, Gen *Ry<sub>adg</sub>*.

# **Morphological Variability, Earliness, and PCR Protocol for the *Ryadg* Gene in Native Potatoes (*Solanum* spp.) Cultivated at 2760 masl, Ayacucho-2024**

Rosalía Yarcuri Arotoma; German De La Cruz Lapa  
Research Area: Biotechnology  
Research Line: Agricultural Genetic Improvement  
[rosalia.yarcuri.01@unsch.edu.pe](mailto:rosalia.yarcuri.01@unsch.edu.pe)  
[german.delacruz@unsch.edu.pe](mailto:german.delacruz@unsch.edu.pe)

## **ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the morphological variability and earliness of native potato (*Solanum* spp.) germplasm from La Mar Province (Ayacucho) cultivated at 2760 m above sea level, as well as to test PCR protocols for detecting the molecular marker of the *Ryadg* gene, associated with resistance to PVY virus, to assess its potential for genetic improvement programs. Thirty-two morphological descriptors were used, along with earliness traits (days to emergence, flowering, harvest, and dormancy).

Results revealed significant morphological variability among accessions, clustering them into four subgroups based on similarities in tuber shape and color, growth habit, and flowering. Principal component analysis showed that descriptors C6, C12, and C20 contributed most to morphological variation. Early-maturing accessions, such as T34 (Sangre de toro macho), emerged at 10 days, while late-maturing ones, like T15 (Puka sawinto 1), emerged at 28 days. Comparisons with previous studies, such as Muñoz (2024) conducted at 3760 m above sea level, demonstrated differences in morphological expression and earliness, suggesting strong environmental influences, including altitude and temperature. A PCR protocol for the RySC3 marker linked to PVY resistance was optimized, with ideal conditions of 95°C denaturation (60 sec), 50°C annealing (45 sec), and 72°C extension (45 sec) over 30 cycles.

Keywords: Native Potato, Morphological Characterization, Standardization, *Ryadg* Gene.

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum* spp.), es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial y segundo en el Perú (FAO, 2022; COAG, 2022), es fundamental para la seguridad alimentaria y económica, especialmente en zonas andinas donde sustenta a más de 600,000 pequeños agricultores (COAG, 2022). El Perú, centro de origen y diversidad de la papa, alberga ocho especies domesticadas y 91 silvestres, muchas con potencial genético para resistir estrés biótico y abiótico, lo que las hace clave para el mejoramiento genético (De Haan et al., 2010; Pumisacho & Sherwood, 2002). Sin embargo, su producción enfrenta desafíos como el Potyvirus Y (PVY), transmitido por áfidos (*Myzus persicae*), que causa necrosis foliar y moteadura, reduciendo rendimientos (Lorenzen et al., 2006; Sagredo et al., 2009). Estudios previos en Ayacucho evidenciaron alta diversidad morfológica y genética en papas nativas (De la Cruz et al., 2020), mientras que Muñoz (2024) identificó cuatro subgrupos de acuerdo a su variabilidad morfológica de las 64 accesiones de papas nativas cultivadas a 3760 msnm, incluyendo accesiones precoces como la silvestre Atuppa Papan. Para el uso del método de resistencia genética contra el PVY, los avances en biología molecular han permitido identificar marcadores específicos asociados a genes de resistencia. El gen *Ry<sub>adg</sub>*, derivado de *S. tuberosum* subsp. andigena, ha demostrado conferir resistencia extrema a todas las cepas conocidas de PVY (Whitworth et al., 2009). Marcadores como RySC3 (Kasai et al., 2000) han sido desarrollados para su detección mediante PCR, técnica que permite amplificar secuencias específicas de ADN (Tamay de Dios et al., 2013). Sin embargo, la validación de estos marcadores en condiciones locales y para germoplasma específico sigue siendo un reto. Por ello esta investigación como objetivo evaluar la variabilidad morfológica, precocidad del germoplasma de papas nativas (*Solanum* spp.) de la provincia La Mar (Ayacucho) cultivadas a 2760 msnm. y probar protocolos de PCR para el gen *Ry<sub>adg</sub>*, para resistencia al virus PVY en papas nativas, para su conservación y uso en programas de mejora genética.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Huamanga, región Ayacucho a una altitud de 2760 msnm, en la parcela experimental de Genética ubicado en el Núcleo de Investigación y Producción de la Universidad de Huamanga (NIPUH), con coordenadas UTM 13°09'19''S, 74°13'08'' W, clima seco, precipitación anual de 475.3 mm, temperatura media mensual varía entre 6.3 – 26.5°C. Se instaló el cultivo entre los meses diciembre de 2022 hasta abril 2023, donde el material biológico consta de 60 accesiones de papas nativas, más 3 cultivares mejorados (T16, T63, T64) y uno silvestre (T30), procedentes de la comunidad Virgen de Cocharcas, La Mar, Ayacucho.

**Tabla 1**

*Accesiones de 60 papas nativas, más 3 cultivares mejorados y uno silvestre (Solanum spp.) de la comunidad Virgen de Cocharcas, San Miguel, La Mar, Ayacucho.*

TRAT	ENTRADA/ ACCESIONES	TRAT	ENTRADA/ ACCESIONES
T1	Carrasco	T33	PN5
T2	Peruanita	T34	Sangre de toro macho
T3	Palta mindez	T35	Sangre de toro
T4	Lenguas	T36	Peruanita larga
T5	Duraznillo	T37	Camotillo
T6	Huantina	T38	Yuraq wicapasña
T7	Yuraq winchina	T39	Yana llumchuy waq
T8	Qellu runtus	T40	Puka carrasco
T9	Allqa carrasco	T41	Kunkantullo
T10	Ruyaq suytu	T42	Lengua de vaca
T11	PN4	T43	PN6
T12	PN1	T44	Humampa uman 2
T13	Ruyru mindez	T45	Blanca andina
T14	Moro panchaela	T46	Tumbay
T15	Puka sawinto 1	T47	PN9
T16	Mariva	T48	Taragallo
T17	Yana carrasco	T49	Puka sawinto 2
T18	PN2	T50	Chanchamayina
T19	Ruyru ritipa sisan	T51	Chiqchi wiksa
T20	Chaulina	T52	Huevo de indio
T21	Huamampa uman	T53	PN7
T22	Puka huayro	T54	Yana huayru
T23	Ritipa sisan	T55	PN8
T24	Piñacha	T56	Corazon de cuy
T25	Cuchipelo	T57	Quchurva
T26	Wira pasña mor	T58	Papa fuerte
T27	Puka turnillo	T59	PN3
T28	Sangre de cristo	T60	Puka ñawi
T29	Wincuello	T61	Qorisunqu
T30	Atuqpa papan	T62	Qellqay Wiksa
T31	Uru puñuchi	T63	Yungay
T32	Amarilla larga	T64	Canchan

Fuente: Muñoz (2024)

Nota: PN = papa nativa

### **Diseño experimental**

Se utilizó el diseño experimental Látice simple (8x8) distribuidos con doble randomización en dos bloques. Modelo Aditivo Lineal (MAL):  $Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + S_k + e_{ijk}$  (Talamantes, 1986). La unidad experimental (2.4m x 2m) estuvo conformada por 3 surcos, distanciados 0.8m y 3 tubérculos por surco.

### **Análisis fisicoquímico del suelo**

Se instaló en un suelo con pH 8.32 (alcalino), conductividad eléctrica 0.66 dS/m (ligeramente salino), CIC efectiva 22.8 Cmol/kg, materia orgánica 0.99% (bajo), nitrógeno total 0.05% (bajo), potasio disponible 174.6ppm (alto), fósforo disponible 14.4ppm (bajo), con una clase textural franco arenoso. A falta de nutrientes se realizó un abono de fondo con fuente orgánica (estiércol de bovino a una dosis de 2kg/UE) e inorgánica (fertilizante MOLIMAX papa sierra con nivel de abonamiento 15-25-15 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O a razón de 500g/UE) y de apoyo en la etapa de llenado de tubérculos con microelementos (Fetrilon-combi 4%Mn; 4%Fe, 1.5%Cu; 1.5%Zn; 0.5%B; 0.1%Mo 250g/200L y CaBZn Ca<sup>++</sup>, B, Zn 1L/200L ).

### **Manejo del cultivo**

El suelo se preparó el 25 de noviembre de 2022 mediante un proceso secuencial: inicialmente se pasó el arado de discos y posteriormente la rastra para lograr un adecuado desterronado. Acto seguido, se procedió a demarcar la unidad experimental utilizando estacas y rafia como guías. Una vez delimitadas las parcelas, se realizó la apertura de surcos empleando allacho y azadones, manteniendo una distancia uniforme de 0.8 m entre surco.

Previo a la siembra, se aplicó una combinación de abonos orgánicos y sintéticos para garantizar una adecuada nutrición del cultivo. La siembra se efectuó a una profundidad entre 10-15 cm. Durante el desarrollo del cultivo, se ejecutaron dos aporques: el primero a los 32 días después de la siembra (dds) y el segundo a los 57 dds, con el objetivo de favorecer el desarrollo de los tubérculos.

El manejo fitosanitario incluyó medidas preventivas contra *Phytophthora infestans* mediante la aplicación de Mancozeb. Adicionalmente, ante la presencia de plagas ocasionales, se utilizaron los insecticidas Cipermetrina y Fastac. Para optimizar la efectividad de los productos aplicados y prevenir su lavado, se incorporó el coadyuvante orgánico siliconado BREAK THRU en una dosis de 0.15 cc/L.

La cosecha principal se realizó a los 120 dds, momento en el cual aproximadamente el 90% de las accesiones estaban listas para cosechar, evidenciadas por un 50% de

amarillamiento foliar. No obstante, algunas accesiones tardías mantenían aún su follaje verde.

Finalmente, se seleccionaron 15 tubérculos representativos de cada accesión, los cuales fueron tratados con el producto químico TIFÓN (Clorpirifos 25g/kg + aditivos) como medida de protección poscosecha. Estos materiales fueron almacenados en bolsas de papel y conservados en un área oscura del Banco de Germoplasma del Laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal de la UNSCH, garantizando así su preservación para futuros estudios.

#### **Método para evaluación morfológica.**

Para evaluar la variabilidad morfológica en las 64 accesiones, se utilizó el descriptor de Gómez 2004, Centro Internacional de la Papa (CIP). Durante la evaluación de campo en plena floración, se documentaron cuatro características foliares, una del hábito de crecimiento, dos del tallo, diez de la flor, dos de la baya, diez del tubérculo y tres del brote.

#### **Método para evaluación de precocidad**

Para evaluar la precocidad de las papas, se consideró los caracteres siguientes: desde la siembra días a la emergencia, días a la floración, días a la madurez de cosecha y días al brotamiento. Se contó los días transcurridos cuando el 50% de las accesiones hayan llegado al estado fenológico indicado.

### **MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL PROTOCOLO DE PCR**

#### **Extracción de ADN**

Se utilizó hojas sanas y del ápice de la planta para evitar la extracción de ADN de otros micro organismos. Se siguió el protocolo del método CTAB 2X (hexadecil bromuro de trimetil amonio) (Doyle y Doyle, 1990), modificado por CIP, (1998).

#### **Cuantificación de ADN extraído**

Por espectrofotometría. Se determinó la cantidad (ng/uL) y de calidad tubo un valor de la relación A260/A280 (ADN/proteínas) en los rangos de 1.7-2.0. Por densitometría. Se evaluó la integridad y calidad; asimismo, la cantidad de ADN comparando con los estándares de Lambda Hind-III.

#### **PCR**

Se utilizó el marcador molecular RySC3 con la siguiente secuencia F: ATA CAC TCA TCT AAA TTT GAT GG y R: AGG ATA TAC GGC ATC ATT TTT CCG A del gen *Ry<sub>adg</sub>*, que tiene un peso de 321 pb (Kasai et al., 2000). El master mix para una reacción (1Rxx) es de 10uL el cual contenía 1.65uL de NFW, 2uL de buffer (5X), 1uL de MgCl

(25uM), 0.2uL de dNTPs (20uM), 3.0 µL de primer (10uM), 0.15 µL de enzima Taq polimerasa (5U/uL) y 4.0 µL de ADN molde (Muñoz, 2024)

### **Temperatura Ta**

Los ciclos de temperatura son: denaturación inicial 95°C por 2 minutos: 30 ciclos de denaturación 95°C por 60 segundos, temperatura de annealing 50°C por un tiempo de 45 segundos, extensión 72°C por 45 segundos; y extensión final 72°C por 7 minutos.

### **ANÁLISIS DE DATOS**

Con los datos cualitativos de la caracterización morfológica se realizó el análisis de agrupamiento con Rstudio y el análisis de la precocidad se realizó mediante la prueba de contraste de medias Tuckey a una probabilidad de  $p < 0.05$ .

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

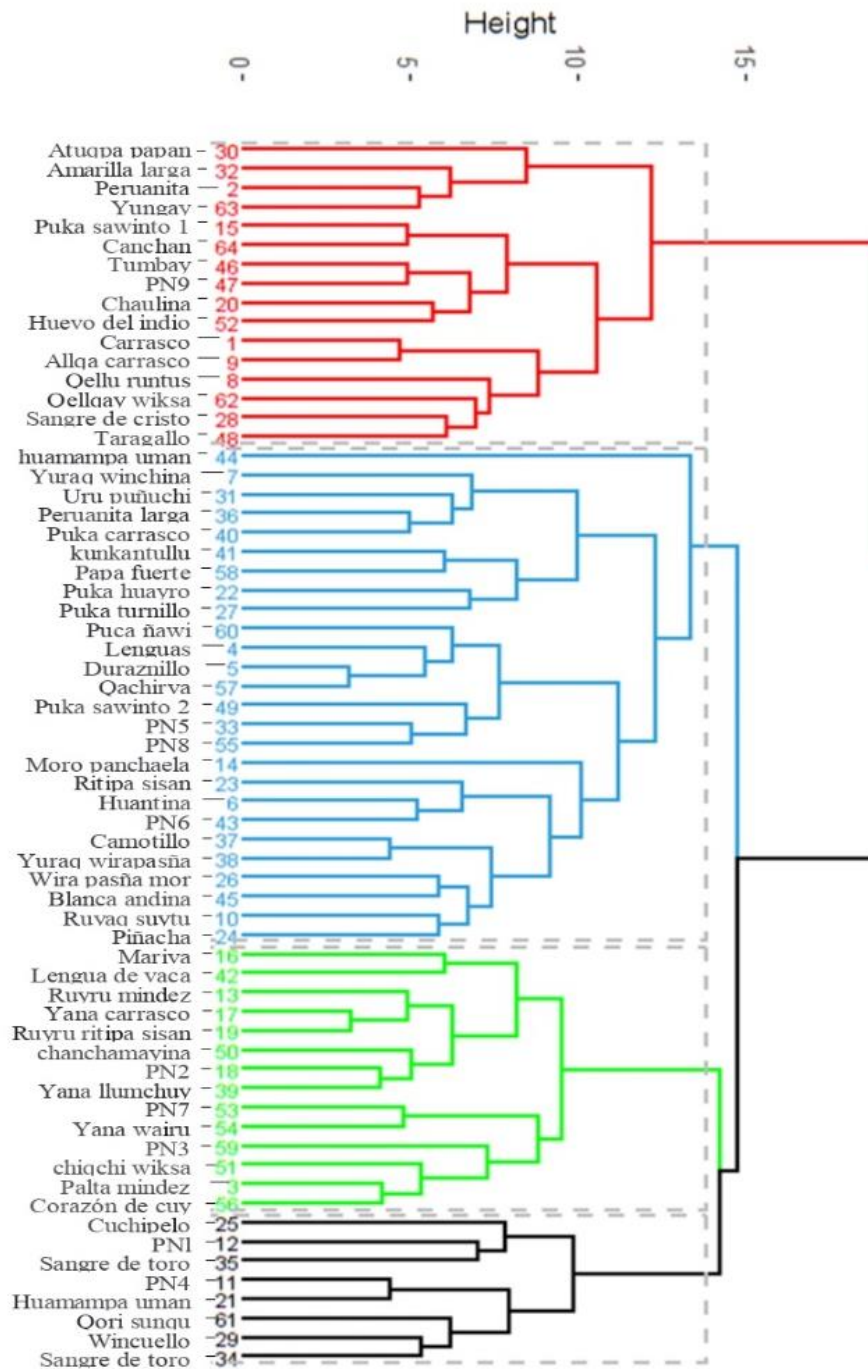
### **A.- CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA**

#### **Análisis de agrupamiento morfológico**

El dendrograma de las 64 accesiones de papa nativa reveló cuatro subgrupos con un 13,7% de similitud: el primero (rojo, 16 accesiones) incluyó la papa silvestre Atupqa Papan, variedades como amarilla larga, Peruanita y Tumbay, y las mejoradas Canchán y Yungay; el segundo (azul, 26 accesiones) y tercero (verde, 14 accesiones) agruparon otras accesiones, como la mejorada Mariva, mientras que el cuarto (negro, 8 accesiones). Estudios como los de Muñoz (2024) y Spooner et al. (2005) respaldan estos agrupamientos, indicando que las similitudes entre papas nativas y mejoradas se deben a su origen común y posible hibridación en los Andes, como se observó en la relación cercana entre Atupqa Papan y accesiones cultivadas.

#### **Figura 1**

*Dendrograma basada en 32 descriptores morfológicos de 64 accesiones de papa nativa (Solanum spp.), cultivados a 2760 msnm.*



### Análisis de componentes principales con caracteres morfológicos (PCA)

En la figura 2 muestran el porcentaje de contribución de los descriptores en describir la variabilidad morfológica de las 64 accesiones de papa nativa; donde se aprecia que los descriptores C6 (color de tallos), C20 (color predominante de la piel de tubérculo) y C12 (color secundario de la flor) tienen mayor aporte en la variabilidad; mientras, C31 (color secundario de brote) y C2 (tipo de disección de hoja) tienen mínima porcentaje de contribución en la variabilidad de las papas evaluadas.

### Figura 2

*Aporte de los descriptores en la variabilidad morfológicos de las papas a 2760 msnm.*



## **B.- ANALISIS DE PRECOCIDAD DE 64 ACCESIONES DE PAPAS (*Solanum spp.*) a 2760 MSNM.**

Se evaluaron cuatro caracteres de precocidad en condiciones de 2760 msnm, la primera variable días transcurridos desde la siembra hasta la emergencia, resultó que T34 (Sangre de Toro macho) a los 10 días después de la siembra (dds) emergió, asimismo el último que emergió fue la accesión T15 (Puka sawinto 1) a los 28 dds. La segunda variable floración, variando entre 45 a 70 dds, correspondiente a las accesiones T42 (Lengua de vaca) y T14, T47 y T64 (Moro panchaela, PN9 y canchan) respectivamente. El tercer carácter que se evaluó dds hasta la cosecha, resultó a 90 días las accesiones T4, T7, T5, T15, T16, T17, T22, T23, T24, T26, T27, T28, T30, T32, T34, T35, T38, T39, T40, T41, T42, T44, T46, T47, T48, T49, T51, T54, T57, T59, T60 y T62, y 130 días (máximo) las accesiones T11, T12, T14, T18, T20, T21, T33, T43, T45 y T63. El cuarto carácter fue el periodo de dormancia en días después de la cosecha (ddc), con 35 ddc resultó la accesión T46 (Tumbay) y con 145 ddc (máximo) las accesiones T4, T5, T16, T19, T44, T58, T61 y T62 (Tabla 3.13).

Los datos reportados son distintos en estos 4 caracteres de precocidad evaluados *in situ* en la provincia La mar a una altitud de 3760 msnm por Muñoz (2024), quien reportó que la accesión precoz a la emergencia fue Atuppa Papan (T30); en cuanto a la floración las accesiones Mariva (T16) a los 66 dds; respecto a días a la cosecha reportó que la accesión T30 se cosechó a los 103 dds.

**Tabla 2**

*Promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de la precocidad de papa nativa, 2760 msnm.*

	<b>EMERGENCIA (dds)</b>	<b>FLORACIÓN (dds)</b>	<b>COSECHA (dds)</b>	<b>BROTAMIENTO (ddc)</b>
Promedio	16.35	56.29	103.44	85.77
Máximo	28.00	70.00	130.00	145.00
Mínimo	10.00	45.00	90.00	35.00
Desv. Estándar	3.49	5.64	14.93	26.82

## **C.- PRUEBA DE PROTOCOLOS DE PCR Y OBSERVAR EL GEN *Ryadg*,**

### **PARA RESISTENCIA AL VIRUS PVY**

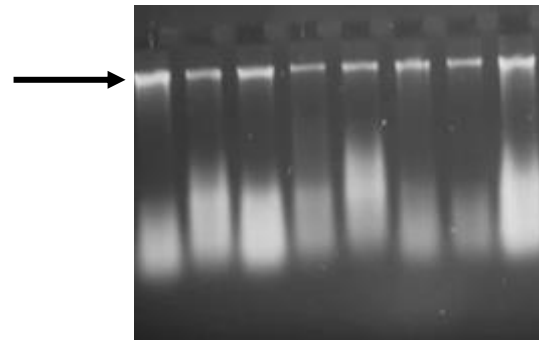
#### **Extracción de ADN**

La evaluación de la integridad y pureza del ADN aislado de ocho accesiones de papa nativa se ilustra en la Figura 4. La caracterización mediante electroforesis horizontal en gel de agarosa exhibe bandas intensas y los análisis espectrofotométricos

determinaron concentraciones de ADN desde 109.40 hasta 1691.10 ng/ $\mu$ L, y ratios de absorbancia A260/A280 entre 1.89 y 2.04, indicativos de una pureza aceptable.

#### Figura 4

*Extracción de ADN visualizada en gel de agarosa de ocho accesiones de papa nativa (Solanum spp.)*



#### Pruebas de PCR para el gen $Ry_{adg}$

En la prueba de estandarización de PCR se realizó con 8 accesiones de papa nativa (Fig. 5) donde se incluyó la papa silvestre Atuqpa-papan (T30) como control (portador del gen) y resultó mostrando el gen de resistencia la papa nativa Palta-Mindez (T3). Y la segunda prueba del protocolo de PCR con 5 accesiones de papa nativa. El resultado se observa en la Figura 6 en donde solo la accesión Palta-mindez (T3) muestra la banda con el marcador RYSC3, reiterando la presencia del gen de resistencia en su genotipo

#### Figura 5

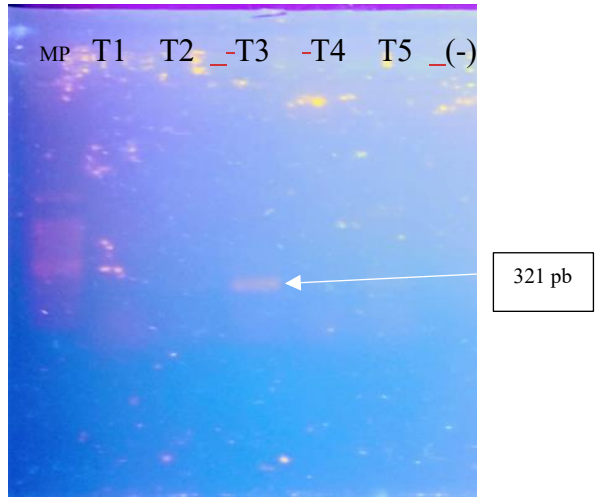
*Foto de la primera prueba de PCR con ocho accesiones de papa nativa portadoras del gen  $Ry_{adg}$ .*



Leyenda: MP, ladder 100 pb. (-) control negativo. T30 (Atuqpa papan), T49 (Puka sawinto 2), T50 (Chanchamayina), T51 (Chiqchi wiksa), T52 (Huevo de indio), T53 (PN7), T54 (Yana huayru) y T3 (Palta mindez).

#### Figura 6

*Foto de la segunda prueba de PCR con cinco accesiones de papa nativa portadoras del gen  $Ry_{adg}$ .*



Leyenda: MP, Lader marcador de peso molecular (100pb), T1 (Carrasco), T2 (Peruanita), T3 (Palta mindez), T4 (Lenguas) y T5 (Duraznillo), (-) control negativo

## CONCLUSIONES

1. El estudio realizado con 60 papas nativas, 3 mejoradas (Yungay, Canchan y Mariva) y 1 silvestre (*Solanum* spp.) cultivados a 2760 msnm evidenció una notable variabilidad morfológica, que agruparon mediante un dendograma en cuatro sub-grupos con un coeficiente de similitud 13.7%. Los descriptores que más contribuyeron en describir la variabilidad morfológica de las papas nativas fueron color de los tallos (C6), color predominante del tubérculo (C20), color secundario de la flor (C12), Color de pedicelo (C17), distribución del color secundario de la flor (C13), color del cáliz (C16) y el color de la baya (C18).
2. Las papas nativas (*Solanum* spp.) cultivadas a 2760 msnm mostraron variabilidad, las accesiones precoces con emergencia a los 10 dds siendo Sangre de Toro macho, T34, floración desde los 45 dds Lengua de Vaca (T42), y cosecha a los 90 las accesiones como T4, T7, T5, entre otras. Además, el brotamiento post-cosecha ocurrió a los 35 ddc la accesión Sangre de Toro (T35) hasta 145 ddc, evidenciando diferencias significativas en el ciclo de desarrollo entre accesiones.
3. El mix de PCR para amplificar el gen *Ryadg* de las papas que da resistencia contra el virus Y (PVY), mediante el marcador RySC3, el volumen total de 10uL:2uL de Buffer 5X; 1uL de MgCl<sub>2</sub> (25uM); 0.2uL de dNTPs (10uM); 0.5uL de primer; 0.15uL de Taq ADN polimerasa; y 4uL de ADN y los ciclos de temperatura son: denaturación inicial 95°C por 2 minutos; 30 ciclos de denaturación 95°C por 60 segundos, temperatura de annealing 50°C por un tiempo de 45 segundos, extensión 72°C por 45 segundos; y extensión final 72°C por 7 minutos.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abriata, L. A., Aguilar, O. M., Almasia, N., Emiliano, A., Sebastian, A., Ariel, B., Paula, B., Maria, B., Fernando, B. A., Mariano, B., Moises, B., Susana, C., Fernando, C., Alicia, C., Nestor, C., Paula, C., Atilio Pedro, C., Gerardo. D, C., Nadia, C., ...Noga, Z. (2011). *Biología y Mejoramiento Vegetal II* (G. Levituz, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski (eds.); 2nd ed.). INTA. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/BiotecnologiayMejoramientovegetall.pdf>
- Cadima, X., Veramendi, S., & Gabriel, J. (2013). Uso de marcadores moleculares microsatélite para el análisis de la diversidad genética de papa nativa de Bolivia. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 4(1), 18-30. *Of the Selva Andina Research Society* 18-30.
- Chen, S., Torza, T., Byun, B., Coffin, R., Coffin, J, Peters, R., and Wang-Pruski, G. 2017. "DNA Markers for Selection of Late Blight Resistant Potato Breeding Lines." *American Journal of Plant Sciences* 08(06):1197–1209. doi:10.4236/ajps.2017.86079.
- Comité de Agricultura (COAG). 2022. "Propuesta Para Un Día Internacional de La Papa." 1–4.
- Delgado, A. 2006. "Uso De Marcadores Moleculares En Plantas; Aplicaciones En Frutales Del Trópico." *Agronomía Meso Americana* 17(2):221–46.
- De la Cruz, G., Miranda, T.Y., Blas, R.H., Neyra E and Orjeda G. 2020. Simple Sequence Repeat-Based Genetic Diversity and Analysis of Molecular Variance among on-Farm Native Potato Landraces from the Influence Zone of Camisea Gas Project, Northern Ayacucho, Peru. *Am. J. Potato Res.* 97, 143–161 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09763-7>.
- Gómez, R. 2004. "Guía Para Las Caracterizaciones Morfológicas Básicas En Colecciones de Papas Nativas. Introducción." *Centro Internacional de La Papa (CIP)* 1(December):28.
- De Haan, S., Nñez J., Bonierbale M., and Ghislain M. 2010. "Multilevel Agrobiodiversity and Conservation of Andean Potatoes in Central Peru: Species, Morphological, Genetic, and Spatial Diversity." *Mountain Research and Development* 30(3):222–31. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00020.1.
- Huaman, Z. 2008. *Discriptores Morfológicos de La Papa (Solanum Tuberosum L.)*. edited by CCBAT. Lima, Perú: Producciones Gráficas s.l.
- Inostroza, J. 2009. *Manual de Papa Para La Araucanía: Manejo y Plantación*.

- Kasai, K., Morikawa, Y., Sorri, V. A., Valkonen, J. P., Gebhardt, C., & Watanabe, K. N. (2000). Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ry<sub>adg</sub>* based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome* 43(1):1–8. doi:10.1139/g99-092.
- Lorenzen, J., Meacham, T., Berger, P. et al. Whole genome characterization of Potato virus Y isolates collected in the western USA and their comparison to isolates from Europe and Canada. *Arch Virol* 151, 1055–1074 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00705-005-0707-6>
- Muñoz, R. 2024. *Caracterización y Selección Molecular de Acciones de Papas Nativas (Solanum Spp.) Con Genes Para Resistencia a Phytophthora Infestans, La Mar, Ayacucho, 2022.*
- Pumisacho, M., and Sherwood, S. 2002. *El Cultivo de Papa En Ecuador*. INIAP-CIP.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). *La papa: Alimento básico en la dieta mundial*. FAO. <https://www.fao.org/potato-2008/es/>.
- Sagredo D, Boris, Mathias R, Mónica, Barrientos P, Claudia, Acuña B, Ivette, Kalazich B, Julio, & Santos Rojas, José. (2009). Evaluation of a SCAR RYSC3 Marker of the *Ry<sub>adg</sub>* Gene to Select Resistant Genotypes to Potato Virus Y (PVY) in the INIA Potato Breeding Program. *Chilean journal of agricultural research*, 69(3), 305-315. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000300002>.
- Salazar, L. F. 1971. *Los Virus de La Papa y Su Control*. edited by Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Śliwka, J., H. Jakuczun, P. Kamiński, and E. Zimnoch-Guzowska. 2010. “Marker-Assisted Selection of Diploid and Tetraploid Potatoes Carrying *Rpi-Phul*, a Major Gene for Resistance to *Phytophthora Infestans*.” *Journal of Applied Genetics* 51(2):133–40. doi:10.1007/BF03195721.
- Solomon-Blackburn, R. M., and H. Barker. 2001. “A Review of Host Major-Gene Resistance to Potato Viruses X, Y, A and V in Potato: Genes, Genetics and Mapped Locations.” *Heredity* 86(1):8–16. doi:10.1046/j.1365-2540.2001.00798.x.
- 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*. Vol. 102. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507400102>.
- Stefańczyk, E., Sobkowiak, S., Brylińska, M., & Śliwka, J. (2017). Expression of the Potato Late Blight Resistance Gene *Rpi-phu1* and *Phytophthora infestans* Effectors in the

- Compatible and Incompatible Interactions in Potato. *Phytopathology*, 107(6), 740–748. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-16-0328-R>
- Tamay de Dios, L., C. Ibarra, and C. Velasquillo. 2013. “Fundamentos de La Reacción En Cadena de La Polimerasa (PCR) y de La PCR En Tiempo Real.” *Instituto Nacional de Rehabilitación (INR)* 2:70–79.
- Rodríguez, L (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316242003.pdf>.
- Valkonen J. P. (2015). Elucidation of virus-host interactions to enhance resistance breeding for control of virus diseases in potato. *Breeding science*, 65(1), 69–76. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.69>.
- Wang, M., Allefs, S., van den Berg, R. G., Vleeshouwers, V. G., van der Vossen, E. A., & Vosman, B. (2008). Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of Rpi-blb1 are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics* 116(7):933–43. doi:10.1007/s00122-008-0725-3.
- Whitworth, Jonathan L., Richard G. Novy, Darren G. Hall, James M. Crosslin, and Charles R. Brown. 2009. “Characterization of Broad Spectrum Potato Virus Y Resistance in a *Solanum Tuberosum* Ssp. *Andigena*-Derived Population and Select Breeding Clones Using Molecular Markers, Grafting, and Field Inoculations.” *American Journal of Potato Research* 86(4):286–96. doi:10.1007/s12230-009-9082-2.