

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“TAMIZADO DE PAPAS NATIVAS (*Solanum spp.*) POR REACCIÓN  
A BAJAS TEMPERATURAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**VICTOR ALEJANDRO SORIANO MARÍN**

**Lima – Perú**

**2020**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente tesis (Art. 24 -  
Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**“TAMIZADO DE PAPAS NATIVAS (*Solanum spp.*) POR REACCIÓN**  
**A BAJAS TEMPERATURAS”**

**Presentado por:**  
**VICTOR ALEJANDRO SORIANO MARÍN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobada por el siguiente jurado:

.....  
Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz

**PRESIDENTE**

.....  
Dr. Raúl Humberto Blas Sevillano

**ASESOR**

.....  
Ing. Mg. Sc. Rolando P. Egúsqüiza Bayona

**MIEMBRO**

.....  
Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Amelia y César, por darme la vida y su apoyo. A ellos les debo todo.

A mi hermano José, por sus consejos, confianza y enseñanzas a lo largo de la vida.

A Dey, por su amor y compañía en el desarrollo de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Raúl Blas por asesorar, guiar y encaminar el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Alain Rutti y a sus alumnos por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación.

Al Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “José María Arguedas” de Sicaya, por brindar los ambientes necesarios para la instalación de la investigación.

A los integrantes del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina por sus recomendaciones.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. El cultivo de la papa .....	3
2.1.1. Papas nativas y su biodiversidad.....	4
2.1.2. Cambio climático y el cultivo de papa nativa.....	5
2.2. Heladas .....	6
2.2.1. Clasificación de las heladas .....	7
2.2.2. Heladas en el Perú .....	7
2.2.3. Efecto de las heladas en los cultivos .....	8
2.2.4. Efecto de las heladas en la papa.....	8
2.2.5. Mecanismo de tolerancia en los cultivos .....	9
2.2.6. Mecanismo de tolerancia a las heladas en la papa .....	10
2.2.7. Herramientas para evaluar el daño de heladas en papa .....	11
2.2.8. Prevención y reducción del daño causado por heladas .....	13
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
3.1. Material genético experimental.....	14
3.2. Ambiente experimental .....	14
3.3. Materiales .....	14
3.3.1. Vivero .....	14
3.3.2. Laboratorio.....	15
3.3.3. Gabinete.....	15
3.4. Metodología.....	15
3.4.1. Instalación.....	15
3.4.2. Manejo agronómico.....	16
3.5. Tratamientos .....	16
3.6. Diseño experimental.....	18
3.7. Variables estudiadas.....	18
3.7.1. Nivel de daño .....	18
3.7.2. Cantidad de estomas por campo óptico .....	19
3.7.3. Cantidad de clorofila .....	19
3.7.4. Color de tallo.....	19

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>20</b>
4.1. Tamizado a bajas temperaturas.....	20
4.1.1. Nivel de daño a menos cuatro grados centígrados .....	20
4.1.2. Nivel de daño a menos ocho grados centígrados .....	23
4.2. Cantidad de estomas.....	25
4.3. Contenido de clorofila.....	27
4.3.1. Clorofila en campo .....	27
4.3.2. Clorofila en Vivero.....	29
4.4. Color de tallo .....	32
4.5. Correlación entre variables .....	32
4.5.1. Respecto al nivel de daño a menos cuatro grados.....	33
4.5.2. Respecto al nivel de daño a menos ocho grados .....	34
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>38</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las especies cultivadas de papa .....	4
Tabla 2: Acciones de papa evaluadas en este experimento .....	16
Tabla 3: Nivel de daño .....	18
Tabla 4: Nivel de color de tallo .....	19
Tabla 5: Número de acciones por grado de tolerancia .....	20
Tabla 6: Nivel de daño a -4°C por una hora.....	21
Tabla 7: Nivel de daño a -8°C por una hora .....	24
Tabla 8: Análisis de varianza de la cantidad de estomas por campo óptico .....	25
Tabla 9: Análisis de varianza para el contenido de clorofila en campo.....	27
Tabla 10: Análisis de varianza para el contenido de clorofila en vivero .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nivel de daño por región.....	23
Figura 2: Cantidad de estomas y grado de tolerancia a -4 °C. ....	26
Figura 3: Promedio de estomas por grado de tolerancia. ....	27
Figura 4: Contenido de clorofila en campo y agrupación de promedios por prueba de Tukey. ....	28
Figura 5: Contenido de clorofila en vivero y agrupación de promedios por prueba de Tukey. ....	30
Figura 6: Contenido de clorofila en campo y vivero por grado de tolerancia.....	31
Figura 7: Número de accesiones evaluadas por nivel de pigmentación. ....	32
Figura 8: Correlación de Pearson de las variables evaluadas con nivel daño a -4 °C. ....	33
Figura 9: Correlación de Pearson de las variables evaluadas con nivel de daño a -8 °C....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Zona de procedencia y color de tallo de las 60 accesiones evaluadas.....	47
Anexo 2: Cantidad de estomas, desviación estándar y agrupación de promedios con prueba de Tukey .....	49
Anexo 3: Contenido de clorofila en campo, desviación estándar y agrupación de promedios con prueba de Tukey.....	51
Anexo 4: Contenido de clorofila en vivero, desviación estándar y agrupación de promedios con prueba de Tukey.....	53
Anexo 5: Fotografías de accesiones con mayor cantidad de estomas (x100).....	55
Anexo 6: Fotografías de accesiones con menor cantidad de estomas (x100).....	56
Anexo 7: Fotografías de los niveles de daño observados .....	57
Anexo 8: Algunas accesiones luego de una semana de someterse a -4°C considerados tolerantes .....	58
Anexo 9: Algunas accesiones luego de una semana de someterse a -4°C considerados con tolerancia media. ....	59
Anexo 10: Algunas accesiones luego de una semana de someterse a -4°C consideradas susceptibles.....	60
Anexo 11: Accesoión tolerante a -8°C (Huaña), una semana después del sometimiento .....	61
Anexo 12: Efecto general del daño ocasionado por la exposición a -8 °C .....	62

## RESUMEN

Las papas nativas tienen un papel importante en la seguridad alimentaria de las comunidades campesinas gracias al aporte nutricional rico en micronutrientes, como vitamina C, minerales, antocianinas y otros; también es una fuente de ingreso para estas familias campesinas. Sin embargo, la ocurrencia de heladas en las zonas altoandinas es un factor importante en la producción de este cultivo ya que no existe un método eficiente para predecir el momento de ocurrencia, ni tampoco para reducir los efectos que tiene sobre los rendimientos y calidad de las cosechas. Por estas razones es necesaria la identificación de variedades tolerantes. Esta investigación tiene como objetivo identificar accesiones con alto grado de tolerancia a bajas temperaturas y estudiar la relación del número de estomas, contenido de clorofila y color de tallo con el nivel de daño generado. Para ello, se trabajó con 60 accesiones de papas nativas procedentes de diferentes zonas del Perú (Cajamarca, Cuzco, Huancayo, Huancavelica y Puno) las que fueron sometidas a temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $-8^{\circ}\text{C}$  durante un lapso de una hora. Se identificaron 16 accesiones con alto grado de tolerancia a una temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$  y una accesión tolerante a  $-8^{\circ}\text{C}$ . Todas las zonas de procedencia presentan por lo menos una accesión con tolerancia a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Las pruebas estadísticas demuestran que no existen correlaciones significativas entre el nivel de daño obtenido con la cantidad de estomas, el contenido de clorofila y el color de tallo del material evaluado. Sin embargo, hay una tendencia negativa entre la cantidad de estomas y el grado de tolerancia. Estos resultados pueden ser utilizados en los programas de mejoramiento para obtener nuevos clones con alta tolerancia a las bajas temperaturas en las zonas altoandinas.

**Palabras clave:** papas nativas, nivel de daño, tolerancia, heladas, estomas, clorofila, color de tallo.

## ABSTRACT

Native potatoes have an important role in the food security of rural communities due to their nutritional contribution, which is abundant in micronutrients, such as vitamin C, minerals, anthocyanin and others. Also, it is the main economic source for the peasant families. However, frosts in highland areas of the Andes is an important factor in the production of this crop, since there is no efficient method for prediction, nor to reduce the effects on the crop yields and quality. For these reasons, it is necessary to identify tolerant varieties. This research aims to identify accessions with high tolerance to low temperatures and to study the relationship of the number of stomata, chlorophyll content and stem color with the level of damage obtained. We worked with 60 accessions from different areas of Peru (Cajamarca, Cuzco, Huancayo, Huancavelica and Puno), which were subjected to temperatures of  $-4^{\circ}\text{C}$  and  $-8^{\circ}\text{C}$  during one hour. Sixteen (16) accessions were identified with a high degree of tolerance at a temperature of  $-4^{\circ}\text{C}$  ( $24.8^{\circ}\text{F}$ ) and one (1) accession tolerant at  $-8^{\circ}\text{C}$  ( $17.6^{\circ}\text{F}$ ). All areas evaluated show at least one accession with a high degree of tolerance. Statistical tests show that there are no significant correlations between the level of damage obtained with the amount of stomata, the chlorophyll content and the stem color. However, there is a negative trend between the amount of stomata and the degree of tolerance. These results will be useful in the breeding potato programs in order to obtain new clones with high tolerance to low temperatures for the Peruvian highlands.

**Key words:** Native potatoes, level of damage, tolerance, frosts, stomata, chlorophyll, stem color

## I. INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los cultivos con mayor importancia a nivel mundial debido al valor nutritivo, productivo y de consumo que representa. Su importancia nutricional se debe a su alto contenido de micronutrientes, sobretodo vitamina C, cuenta con una cantidad moderada de hierro, pero el gran contenido de vitamina C fomenta la absorción de este mineral, también tiene potasio, fósforo, magnesio y antioxidantes alimentarios (FAO, 2008). Es superior al resto de los cultivos en producción de proteína por unidad de tiempo y superficie y en la obtención de energía (Estrada, 2000). Estas características convierten a la papa en un alimento importante para la seguridad alimentaria a nivel mundial y en Perú, sobre todo en zonas andinas donde se presentan porcentajes altos de desnutrición crónica en poblaciones menores a cinco años de edad, principalmente en las regiones de Huancavelica (32%), Cajamarca (27.4%), Huánuco (22.4%) entre otras (INEI, 2019).

Según el IV Censo nacional Agropecuario (2012), en el Perú, el cultivo de papa es el sustento de más de 710 mil familias, afincadas predominantemente en zonas andinas del país. La superficie cosechada de este cultivo en el año 2016 fue de 311.2 mil hectáreas a nivel nacional, convirtiéndose en el segundo producto más importante de la agricultura del país, siendo solamente superado por el arroz. Se estima que en el 2016 se generaron 33,4 millones de jornales que representan alrededor del 4% del PBI agrícola (MINAGRI, 2018).

Por otra parte, existe una gran biodiversidad de papas nativas dentro del territorio peruano, las cuales se producen y conservan especialmente en la sierra a partir de 3000 m.s.n.m. Se siembran mezcladas para evitar o reducir la diseminación de plagas o enfermedades y una adecuada estrategia para asegurar la producción de alimentos en caso de ocurrir sequía, helada u otros factores ambientales (Egúsquiza, 2000). La biodiversidad de papas nativas está vinculada al autoconsumo y a la seguridad alimentaria de la comunidad, precisamente donde los riesgos climáticos y los niveles de pobreza son más altos como en la región Puno (Claverias y Quispe, 2002).

Actualmente, atravesamos por un cambio climático producido por la acumulación de GEI (Gases de efecto invernadero) en la superficie de la atmósfera, lo que ocasiona un incremento de la temperatura promedio global en la superficie de la tierra. En los próximos años, el calentamiento global no será uniforme geográficamente, por lo que se originarán cambios en la gradiente y consiguientes alteraciones en la circulación de los vientos, la distribución de las precipitaciones y las corrientes marinas. Esto introducirá cambios climáticos diferentes en las diferentes regiones (Barros, 2004).

La helada es un fenómeno atmosférico que se presenta cuando la temperatura del aire existente en las cercanías del suelo, descienden por debajo de los cero grados. Este fenómeno se presenta en más del 70% de las tierras de todo el planeta, sus impactos se dejan sentir principalmente en la población infantil, senil y en cultivos (Gómez, 2010).

El Perú, durante los últimos años está afrontando constantemente temperaturas más bajas que afectan a las poblaciones ubicadas en las zonas alto andinas y en la selva peruana, dichos eventos han causado daños a la vida y salud, así como a los medios de vida de las poblaciones y con mayor énfasis en la agricultura y en la pérdida de sus animales. En el 2016 los daños ocasionados por heladas fueron de 47,380 has y 216,129 has de cultivos perdidos y afectados respectivamente (INDECI, 2017). Al contrario de las medidas de manejo de plagas y enfermedades los tratamientos químicos y medidas culturales que controlen las heladas no son muy útiles. La mejor vía de enfrentar las heladas es utilizar variedades tolerantes o resistentes a través del mejoramiento genético (Vega y Bamberg, 1995).

Es difícil saber con exactitud cuándo se presentará una helada y cuál será su intensidad por lo que uno de los métodos más efectivos es el uso de variedades tolerantes, el presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo contribuir con la evaluación de diferentes variedades de papas nativas recolectadas de diferentes regiones del Perú (Cajamarca, Cusco, Puno, Huancavelica y Junín) para poder identificar cuáles son las que presentan reacción de tolerancia y como objetivo específico evaluar la relación que presenta la cantidad de clorofila, color de tallo y número de estomas con esta tolerancia, para que puedan ser usadas más adelante en programas de fitomejoramiento.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El cultivo de la papa

La papa es un cultivo de gran importancia por el rol que desempeña dentro de la seguridad alimentaria mundialmente. Este alimento puede proporcionar una buena fuente de proteínas, carbohidratos, vitamina C, vitamina B6, vitamina B3 y ciertos minerales tales como potasio, fosforo y magnesio lo cual lo hace muy reconocido (Andre *et al.*, 2009).

Solano (2006), menciona que según el sistema de clasificación Filogenético de Adolph Engler, se puede ubicar a la papa dulce taxonómicamente de la siguiente manera:

REINO: Vegetal

SUB REINO : Phanerogamae

DIVISIÓN : Angiospermae

CLASE : Dicotiledoneae

SUB-CLASE : Methachlamideae

ORDEN : Solanaceae

FAMILIA : Solanaceae

GÉNERO : Solanum

ESPECIE : Solanum tuberosum L.

Debido a la presencia de un gran número de variedades cultivadas y numerosas especies, se puede considerar la Región del lago Titicaca como el centro de origen de la papa cultivada (Hawkes, 1962)

Existen evidencias para afirmar que la papa cultivada es originaria de la región andina de América del Sur entre el Perú (Departamentos de Puno y Cusco) y el Norte de Bolivia, por la existencia de una gran diversidad genética de especies cultivadas y silvestres, por un número de evidencias citológicas (series diploides), históricas (crónicas y ritos), arqueológicas (cerámica, restos de chuño y granos de polen), lingüísticas (voces quechuas y

aimaras) y botánicas (17 mecanismos evolutivos de especialización), esto fue señalado por Cahuana y Arcos (1993).

Spooner *et al.* (2005), indica que los orígenes de la papa (*Solanum tuberosum L.*) se encuentran en la cordillera de los Andes, en el altiplano andino, donde se puede encontrar hasta los 4300 msnm. Se considera que el complejo *Solanum brevicaulis* dio origen a *Solanum tuberosum ssp. Andigenum* en la parte sur del Perú con límites de Bolivia y a *Solanum tuberosum ssp. Tuberosum* en el centro de Chile en las tierras bajas.

Respecto a la clasificación taxonómica, se han presentado diferentes puntos de vista, en la tabla 1 se resume la clasificación taxonómica realizada por los tres taxonómicos más importantes del cultivo.

**Tabla 1: Clasificación de las especies cultivadas de papa**

Ploidía	Hawkes (1990)	Ochoa (1990, 1999)	Spooner <i>et al.</i> , (2007)
2x	S. ajanhuiri S. stenotomum S. phureja	S. ajanhuiri S. stenotomum S. goniocalyx S. phureja	S. ajanhuiri
3x	S. chaucha S. juzepczukii	S. chaucha S. juzepczukii	S. juzepczukii
4x	S. tuberosum ssp. andigena ssp. tuberosum	S. tuberosum ssp. andigena ssp. tuberosum S. hygrothermicum	S. tuberosum ssp. andigena ssp. Tuberosum
5x	S. curtilobum	S. curtilobum	S. curtilobum

FUENTE: Rodríguez, 2009 (Adaptado de Huamán y Spooner, 2002)

### 2.1.1. Papas nativas y su biodiversidad

Las papas nativas son el fruto de la domesticación, selección y conservación realizada por los habitantes andinos desde años atrás, presentan diferencias marcadas en comparación a las variedades mejoradas como una mejor calidad nutritiva, culinaria y mayor porcentaje de materia seca. Se pueden encontrar, especialmente en los Andes de Perú y Bolivia, en un rango de altitud entre 3000 y 4000 msnm (Tupac Yupanqui, 2001).

En el Perú existe una diversidad muy amplia de papas nativas. Muchas especies de papa presentan una apariencia muy diferente, manteniendo la capacidad de hibridarse de manera natural cuando entran en contacto, esto genera alta variabilidad y hace difícil realizar una clasificación entre especies, por lo cual, la taxonomía de las especies cultivadas es muy complicada y no se llega a un consenso a nivel de taxónomos (Spooner y Salas, 2006).

Las familias ubicadas en las comunidades altoandinas donde se cultiva la papa nativa, puede llevar a tener hasta 50 variedades, donde se pueden encontrar los 4 grupos de ploidía (Brush *et al.*, 1995).

Soto (2006), analizó la diversidad genética de papa nativa (*Solanum sp.*) de los departamentos de Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huancavelica y Puno en Perú y concluye que el análisis de agrupamiento y los valores de diversidad genética obtenidos para las especies *Solanum tuberosum subsp. andigena* y *Solanum chaucha* indican que existe un alto grado de diversidad genética en la muestra analizada y corrobora los resultados obtenidos de los inventarios y caracterización realizados en las chacras de los agricultores conservacionistas.

En la región de Huancavelica conservan alta diversidad genética de las papas, información que debe ser usada en programas de mejoramiento genético como estrategia de seguridad alimentaria en el Perú (Montalvo, 2019).

Winter *et al.* (2006) hallaron que posiblemente se esté ocasionando una reducción en la diversidad de las papas nativas de la región Cajamarca, debido a la existencia de políticas asociadas con el desarrollo rural, particularmente con el uso intensivo del suelo y de la mano de obra que son orientados a la producción de cultivos principales.

### **2.1.2. Cambio climático y el cultivo de papa nativa**

El cambio climático, afecta todas las áreas del quehacer de la humanidad, principalmente a la seguridad alimentaria de las zonas vulnerables y, dada su interconectividad obliga a considerar, para su abordaje, desde decisiones políticas globales hasta acciones individuales que puedan marcar la diferencia entre la calidad de vida de una generación a otra, es por eso

que se considera el mayor desafío de nuestro tiempo (Zárate y Miranda, 2016).

El cambio climático está definido como un cambio del clima que es causado directa o indirectamente por la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, también influenciado por la variabilidad natural del clima observada en periodos de tiempo comparables. Esta definición la da la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) en el artículo 1 (ONU, 1992).

Durante el desarrollo de las plantas, el crecimiento y rendimiento, están relacionados con la temperatura del ambiente, por esto los efectos del cambio climático son complejos sobre la producción de cultivos. La papa puede desarrollarse en varios ambientes, pero está adaptada a climas templados (Haverkort, 1990).

El área específica de la hoja (AEH) y el contenido de clorofila en el cultivo de papa se reduce en lugares donde la concentración de CO<sub>2</sub> es alta, esto se debe, posiblemente a una elevada producción de almidón (Bindi *et al.*, 2002).

Se realizaron estimaciones sobre los efectos del cambio climático a nivel mundial en el cultivo de la papa para los próximos 50 años, los resultados proyectan que la reducción del rendimiento puede oscilar entre 18% y 32% si las variedades no tienen una adaptación adecuada, sin embargo, las variedades adaptadas pueden representar pérdidas menores hasta en un 9% (Hijmans, 2003).

Monteros *et al.* (2006) consideran que uno de los efectos del cambio climático puede llegar a ser la desaparición de las papas nativas que fueron sembradas de generación en generación en los andes.

## **2.2. Heladas**

Cuando se registran temperaturas de 0°C o menos con un termómetro de mínimas de una caseta meteorológica, se considera la existencia de una helada, desde el punto de vista meteorológico. Por otro lado, una definición agrometeorológica, define la helada como un descenso en la temperatura ambiente hasta llegar a niveles críticos para los cultivos, donde

los tejidos mueren. Esta definición implica dos condiciones, las meteorológicas y las biológicas, como la tolerancia propia del cultivo o variedad, etapa de desarrollo, condiciones fisiológicas y sanitarias (Campos, 2005), Lasso (1987) relaciona también las condiciones del suelo y duración de la helada.

El enfriamiento de la capa de aire cercana al suelo origina las heladas. Este enfriamiento es causado por la pérdida de calor del suelo por irradiación nocturna en una noche calmada y con cielo despejado, este fenómeno es denominado “inversión térmica”, el cual es un fenómeno contrario al de la gradiente vertical de temperatura por lo que disminuye con la altura, en cambio en el fenómeno de inversión térmica, la capa de aire en contacto con el suelo es más fría que la capa inmediatamente superior (Carrasco, 1993).

### **2.2.1. Clasificación de las heladas**

Existen diferentes clasificaciones con respecto a las heladas, si tenemos como premisa el origen, se pueden clasificar en heladas por advección, por radiación y por evaporación. (Pereyra 1990, Elías y Sentis 2001, Campos 2005 y Matías *et al.*, 2007).

Según el aspecto visual se denominan como helada blanca y helada negra (Pereyra, et al 2002 y Matías *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta la época de ocurrencia se clasifican en primaverales, otoñales e invernales (Pereyra, 1990; Campos, 2005 y Matías *et al.*, 2007).

### **2.2.2. Heladas en el Perú**

En el Perú, las temperaturas más bajas se registran en las zonas del Altiplano, especialmente en la confluencia de las regiones de Puno, Arequipa y Cusco. La estación que registró la temperatura mínima más baja fue la de Macusani, en Puno, con un valor de -28,2°C. En otras zonas de los andes, también se registran descensos en las temperaturas mínimas por debajo de 0°C, estas fueron reportadas en las partes altas de Piura, Cajamarca, Ancash, Ayacucho, Apurímac, Junín, Huancavelica, Huánuco, La Libertad, Moquegua, Tacna e Ica. (SENAMHI-FAO, 2010).

Las heladas se pueden presentar desde los 2 500 msnm, pero el mayor riesgo de ocurrencia está por encima de los 3 500 msnm (Gutiérrez, 2008).

En el año 2018 se declaró en estado de emergencia a 23 provincias de siete regiones del Perú por el impacto de daños a consecuencia de heladas y nevadas. Estas provincias se encuentran situadas en las regiones de Apurímac, Ayacucho, Arequipa, Huancavelica, Huánuco, Puno y Lima (Redacción, 2018).

### **2.2.3. Efecto de las heladas en los cultivos**

Es de suma importancia conocer la temperatura crítica de las diferentes especies cultivadas para poder evaluar la aptitud que tienen dentro de una región, debido que los tejidos o la planta completa pueden morir cuando son expuestas a bajas temperaturas suficientemente intensas y prolongadas. Existen especies que son susceptibles a temperatura superior a 0°C. Por ejemplo, en especies tropicales, como el caucho y el cacao, los daños comienzan a temperaturas marcadamente superiores a 0 °C (De Fina, 1945).

Las plantas de hojas dañadas por el frío muestran inhibición de la fotosíntesis, reducción del transporte de carbohidratos, menor intensidad de respiración, inhibición de síntesis de proteínas y aumento de la degradación de las proteínas existentes. La dilatación del agua dentro de las células que se produce al congelarse, causa la destrucción de los tejidos internos de la planta, por lo que se considera que los cultivos sufren daños de carácter mecánico (Calle *et al.*, 2010).

### **2.2.4. Efecto de las heladas en la papa**

La mayoría de las variedades cultivadas son sensibles a temperaturas inferiores a -2.5°C, a esta temperatura se generan daños visibles a nivel foliar y producen mermas en los rendimientos y en la calidad de los tubérculos cosechados (Chen y Li, 1980).

Además del daño foliar y de la disminución de los rendimientos, las heladas inducen la formación de cristales de hielo a temperaturas de congelación. Se pueden formar cristales de hielo dentro del protoplasma causando el rompimiento y muerte celular, o también en los

espacios extracelulares produciendo severa deshidratación celular (Palta y Li, 1980; Toivio-Kinnican *et al.*, 1981; Steponkus, 1984).

### **2.2.5. Mecanismo de tolerancia en los cultivos**

El conocimiento de las temperaturas críticas de los diferentes cultivos permite evaluar la aptitud del cultivo en una región, sirviendo como ayuda en el desarrollo de nuevas variedades más tolerantes (Camargo, 1993, citado por Pereyra *et al.*, 2002).

La inducción total de la tolerancia a la congelación, necesita un periodo de aclimatación a bajas temperaturas. La capacidad de tolerancia de temperaturas de congelación en condiciones naturales varía mucho entre los tejidos. Las células vegetativas totalmente hidratadas pueden mantener su viabilidad si se enfrían muy rápidamente, lo que evita la formación de cristales grandes de hielo que crecen lentamente perforando y destruyendo las estructuras intracelulares. Sin embargo, en condiciones naturales el enfriamiento de órganos vegetales nunca es tan rápido como para limitar formación de cristales de tamaños perjudiciales para los tejidos (Taiz y Zeiger, 2006).

La producción de proteínas involucradas a la respuesta de las plantas a estrés térmico, por ejemplo, la producción de enzimas claves en la vía de síntesis de osmolitos, enzimas antioxidantes, proteínas que presentan funciones protectoras, factores de transcripción (FT) y otras; es el resultado de la capacidad de condición de aclimatarse de algunas especies que está asociado a cambios moleculares, anatómicos, fisiológicos y bioquímicos (Thomashow, 1999).

Otro factor responsable de la adaptación a bajas temperaturas es el incremento de los ácidos grasos insaturados en las membranas celulares con el fin de mantener su fluidez (Somerville, 1991; Palta *et al.*, 1993; Wada *et al.*, 1994).

La membrana celular puede seguir funcionando a temperaturas bajas debido al aumento de ácidos insaturados o la cantidad de esteroides presentes (Salisbury, 2000).

### 2.2.6. Mecanismo de tolerancia a las heladas en la papa

Choque *et al.* (2007), mencionan que accesiones con tallo pigmentado con poco verde y verde con abundante pigmentación, resultaron ser más resistentes a bajas temperaturas, en comparación a las accesiones susceptibles que no presentaban pigmentación en el tallo.

Taipe (2017), concluye que la relación de helada con el rendimiento puede explorarse evaluando características como la altura de planta, la madurez y la severidad.

Se encontró una correlación positiva entre la actividad fotosintética y la capacidad de aclimatación en un estudio que comparó la actividad fotosintética entre *Solanum acaule* y *Solanum tuberosum* luego de un periodo de aclimatación a bajas temperaturas, (Steffen y Palta, 1989).

Se ha observado una disminución significativa de la actividad fotosintética a bajas temperaturas e incluso con daños irreversibles en el sistema fotosintético en *Solanum tuberosum* (Seppänen y Coleman, 2003).

Algunas especies silvestres tienen la capacidad de sobrevivir a heladas de  $-5^{\circ}\text{C}$  e incluso incrementar su tolerancia a temperaturas tan bajas como  $-10^{\circ}\text{C}$ , previo periodo de aclimatación a bajas temperaturas. Sin embargo, la mayor cantidad de variedades cultivadas de papas son muy sensibles a temperaturas inferiores a  $-2.5^{\circ}\text{C}$  (Chen y Li, 1980; Costa y Li, 1992; Vega y Bamberg, 1995).

Se evaluó la sobre expresión del gen acyl-lipid12-desaturasa en papas, el estudio sugirió que en conjunto con un incremento de los ácidos grasos insaturados en la membrana mejoraría la tolerancia a heladas (Amiri *et al.*, 2010).

Existen estudios que han reportado mayor número de estomas por área en aquellas especies más tolerantes a heladas (Palta y Li, 1979) y en híbridos de *Solanum commersonii* x *Solanum cardiophyllum* (Kleinhenz *et al.*, 1995). Por lo que el índice de estomas se ha propuesto como un criterio de selección en papas tolerantes.

En un estudio que comparó la respuesta a heladas entre líneas transgénicas de *Solanum commersonii* (35S::AtCBF1) y su control no transgénico se reportaron resultados similares; las líneas transgénicas en conjunto con mostrar mayor tolerancia a heladas presentaron mayor número de estomas por área y una empalizada más gruesa que el control (Pino et al., 2006).

En ciertas especies de papas silvestres se encontró la asociación de tolerancia a heladas con tallos y hojas que presentan de pigmentos antocianos (Estrada, 1982).

Pino (2015) concluye que, algunas especies de papa que presentan tolerancia a las bajas de temperatura están asociadas a la presencia de pigmentos antociánicos con propiedades farmacológicas y terapéuticas tanto en el tallo y las hojas.

Choque *et al.* (2007) mencionan que las variedades más tolerantes a las heladas son aquellas que tienen los tallos con pigmentación morada.

Un estudio realizado por Marmolejo y Ruiz (2018), indica que el hábito de crecimiento semi-erecto se podría considerar como un mecanismo de evasión a heladas, la presencia de tallos cortos, permite que las plantas se encuentren más cerca al suelo y el follaje tenga una menor exposición al efecto de las heladas.

Condori et al. (2014) mencionan que la planta adquiere el calor del suelo, esto le proporciona un grado de tolerancia a las heladas.

### **2.2.7. Herramientas para evaluar el daño de heladas en papa**

Se puede determinar el daño producido en las plantas mediante una escala visual teniendo en cuenta un parámetro de clasificación (Vega y Bamberg, 1995). Esta metodología ha sido usada por varios investigadores, quienes obtuvieron resultados exitosos en la evaluación de daño por heladas (Molina 2011, Amagua 2013, Quintana 2018, Benitez y Nilver 2015).

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el daño de heladas en papas, es aquel que evalúa la termo estabilidad de la membrana o pérdida de electrolitos a temperaturas de congelamiento. Este es un método no destructivo validado hace varios años que evalúa hojas expandidas y fisiológicamente activas, según lo descrito por Sukumaran y Weiser (1972). A mayor daño celular existe mayor fuga electrolítica o conductividad eléctrica por lo que se transporta con mayor rapidez el impulso eléctrico en un medio únicamente con agua destinada y el tejido a evaluar (Demidchik y Straltsova, 2014)

Los resultados de índice de daño obtenidos con la metodología de fuga de electrolitos concuerdan con resultados de otros autores y con los índices de daño por escala visual (Espinosa, 2017).

Otros métodos utilizados para evaluar el efecto de las heladas en el cultivo de papa, es la evaluación del daño directo causado por heladas ocurridas en campo y por heladas simuladas en cámara de crecimiento controlada. Ambos son métodos destructivos que permiten evaluar; daño visual del follaje a los 5 días después de ocurrida la helada, porcentaje de plantas muertas, porcentajes de plantas recuperadas pos-helada y el rendimiento por planta (Chang et al., 2014). La principal desventaja, de la evaluación directa en campo es que depende del clima, de la ocurrencia de la helada y no permite controlar la intensidad de la helada. Por otra parte, la principal desventaja de la evaluación de heladas simuladas en cámara de crecimiento controlada, es la necesidad de infra-estructura, alto costo y el bajo número de plantas que se puede evaluar por experimento.

Entre los métodos indirectos no destructivos, el más utilizado es la medición del rendimiento cuántico máximo del PSII ( $F_v/F_m$ ) mediante un fluorómetro. Luego de un periodo de aclimatación y/o helada, las hojas son sometidas a oscuridad durante 10-30 minutos y se miden algunos parámetros de fluorescencia de clorofilas. Entre el más reportado en respuesta a bajas temperaturas está  $F_v/F_m$ , que indica el porcentaje de centros de reacción funcionales del PSII. Su disminución indicaría pérdida de la función fotosintética y valores inferiores a 0.8 indicarían estrés (Steffen y Palta, 1989; O'Kane *et al.*, 1996; McKersie *et al.*, 2000).

### **2.2.8. Prevención y reducción del daño causado por heladas**

Pumisacho *et al.* (2002) concluyen que las opciones para reducir el efecto de las heladas son muy limitadas, se debe tener en cuenta las épocas de siembra para evadir los riesgos, la topografía de la parcela debe ser considerada, por ejemplo, en caso se siembre en periodos donde el riesgo es alto se debe evitar lotes con pendientes suaves debido al drenaje de corrientes de aire frío.

Existen métodos de protección contra las heladas, estos se pueden clasificar en pasivos donde resalta la selección del emplazamiento y manejo, la selección de plantas y variedades, coberturas con árboles, gestión de nutrición de las plantas, manejo de riego. En cuanto a los métodos activos podemos encontrar estufas, aspersores, ventiladores y el riego de superficie entre los principales (Snyder *et al.*, 2010).

Egúsquiza (2000) menciona como principales recomendaciones para prevenir o reducir el daño por heladas la adecuada elección del terreno, oportunidad de siembra donde la época de ocurrencia de heladas no coincida con el crecimiento vegetativo del cultivo, elección de la variedad más tolerantes como por ejemplo las papas amargas, manejo adecuada del abonamiento de la fertilización incrementando las dosis de potasio, distanciamiento de siembra donde los surcos deben estar a la dirección del viento y mayor distanciados.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Material genético experimental**

Los tubérculos usados en el presente trabajo provienen de diferentes zonas del Perú (Cajamarca, Puno, Huancavelica, Huancayo y Cusco). En total se utilizaron 60 accesiones, estas son cultivadas tradicionalmente en zonas alto-andinas tanto en el norte, centro y sur del país y están propensas a sufrir daño por heladas, se trata de accesiones que fueron previamente reportadas como tolerantes a heladas.

#### **3.2. Ambiente experimental**

El trabajo de investigación fue instalado en el vivero del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “José María Arguedas”, ubicado en el Distrito de Sicaya, provincia de Huancayo, región Junín. Los puntos de georreferencia en grados decimales son:

Latitud	12.012106 S
Longitud	75.288958 W
Altitud	3268 msnm

#### **3.3. Materiales**

##### **3.3.1. Vivero**

- Macetas de 3 litros de capacidad
- Ácido giberélico
- Sustrato: Tierra agrícola y compost (2:1)
- Palana
- Tamizador
- Pesticidas
- Jarras con medida
- Trampas amarillas
- Medidor de clorofila SPAD 502
- Cámara fotográfica

- Descriptores mínimos de papa (*Solanum* sp.) para el registro nacional de la papa nativa peruana con carta de colores para flor y tubérculo
- Cuaderno de apuntes
- Plumón marcador

### **3.3.2. Laboratorio**

- Congeladora
- Termohigrómetro
- Cámara fotográfica
- Caja de tecnopor
- Papel toalla
- Cubre y portaobjetos
- Alcohol al 90%
- Lugol
- Bisturí y pinzas
- Microscopio binocular
- Software Dino Capture 2.0

### **3.3.3. Gabinete**

- Software estadístico R studio
- Laptop

## **3.4. Metodología**

### **3.4.1. Instalación**

El experimento fue instalado dentro de un vivero protegido con malla raschel, se instalaron maceteros con sustrato elaborado con tierra de chacra y compost en una proporción de 2 y 1 respectivamente. Por cada accesión se sembraron 3 repeticiones, los maceteros fueron identificados con un plumón marcador con el código de la accesión.

Adicionalmente, las accesiones evaluadas fueron sembradas en campo abierto para poder realizar la comparación del contenido de clorofila en vivero y en campo.

### 3.4.2. Manejo agronómico

#### – Inducción de brotes

Los tubérculos fueron tratados con ácido giberélico a 5 ppm por un lapso de 15 minutos, con la finalidad de promover y uniformizar los brotes en los tubérculos. Los tubérculos tratados se almacenaron en un ambiente cerrado, cubiertos por sacos hasta el día de la siembra.

#### – Riego

En vivero se realizaron riegos con un intervalo de 2 veces por semana, con una cantidad de 250 ml de agua por macetero.

A nivel de campo se realizaron 2 riegos por gravedad en etapa de crecimiento.

#### – Fertilización

No se realizó ninguna fertilización.

#### – Control de plagas y enfermedades

Se realizaron aplicaciones de Rizolex (Tolclofos-metilo) junto con el ácido giberélico como tratamiento de los tubérculos y Furadam (Carbofuran) para el control de insectos en la etapa de crecimiento.

### 3.5. Tratamientos

Los tratamientos son las 60 accesiones de papa evaluadas descritas en la Tabla 2.

**Tabla 2: Accesiones de papa evaluadas en este experimento**

ACCESIÓN	NOMBRE	REGIÓN
1	Tantalla Turqueza	Puno
2	Khuchi Q'allu	Puno
3	Yuraq K'usi	Cuzco
4	Liberteña	Cajamarca
5	Waka Laqra	Puno
6	Morado	Puno
7	Yana huayro	Huancayo
8	Pe-178	Puno
9	Puka lomo	Cuzco
10	Pura	Cajamarca
11	Limeña centro rojo	Cajamarca
12	Piña Blanca	Puno
13	Juan Domingo	Puno
14	Puka p'alta	Cuzco

«continuación»

---

15	6 Ccanchillo	Huancavelica
16	Yana Lontus	Cuzco
17	Pe-122	Cajamarca
18	Casa Blanca	Puno
19	Duraznillo	Huancavelica
20	Poqya	Huancavelica
21	Perdiza runtun	Huancayo
22	Negra centro amarillo	Cajamarca
23	Queta	Cajamarca
24	Pepino	Puno
25	399058.12	Huancayo
26	396034.18	Huancayo
27	Muro Waman uma	Cuzco
28	Santa María	Cajamarca
29	Huagalina	Cajamarca
30	Muru Olomes	Cuzco
31	Mauna	Huancayo
32	Huayta chuco	Huancayo
33	Pumapa maquin	Huancavelica
34	Galindo gaspar	Huancavelica
35	Colorada centro amarillo	Cajamarca
36	Parqo Morado	Puno
37	399079.4	Huancayo
38	Muru Huayro	Huancayo
39	Palta murunqui	Huancayo
40	Sumacc soncco	Huancayo
41	Ishcupuro	Huancayo
42	Huaña	Huancavelica
43	Loka	Puno
44	Piñaza	Puno
45	Ch'ikiña Blanca	Puno
46	395112.19	Huancayo
47	Pumapa maquin negro	Huancayo
48	Puka camotillo	Huancavelica
49	Chiquibonita	Cajamarca
50	Pe-166	Puno
51	302231.12	Huancayo
52	Yana lengua de vaca	Huancayo
53	Calito	Huancayo
54	Suytu camotillo	Huancavelica
55	302951.31	Huancayo
56	Callina shiri	Huancavelica
57	China shiri	Huancavelica
58	Frageada alianza	Cajamarca
59	Patallaqta	Cuzco
60	Lomo Jaspeado	Puno

---

### 3.6. Diseño experimental

Para esta investigación se empleó un diseño Completamente al Azar (DCA), donde los tratamientos son las 60 accesiones evaluadas y se tuvo 3 repeticiones por accesión. En algunos casos a  $-8^{\circ}\text{C}$  solo se contaron con 2 repeticiones.

### 3.7. Variables estudiadas

#### 3.7.1. Nivel de daño

A los 50 días de emerger las plantas se inició con el sometimiento de accesiones, los maceteros fueron puestos dentro de un congelador, el cual presentó 2 termohigrómetros para el control de temperatura.

– **A menos cuatro grados centígrados**

Los maceteros fueron sometidos en un rango de  $-3.5^{\circ}\text{C}$  y  $-4.5^{\circ}\text{C}$  por un intervalo de una hora, luego de este periodo se esperó media hora para retirar los maceteros al ambiente y evitar un cambio brusco de temperatura.

– **A menos ocho grados centígrados**

Las accesiones que mostraron grados de tolerancia medios y tolerantes a  $-4^{\circ}\text{C}$  fueron sometidos a una temperatura más baja.

Los maceteros fueron sometidos en un rango de  $-7.5^{\circ}\text{C}$  y  $-8.5^{\circ}\text{C}$  por un intervalo de una hora, luego se esperó media hora para retirar los maceteros al ambiente.

Las accesiones fueron evaluadas 3 días después de haber sido sometidas a temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $-8^{\circ}\text{C}$  por un intervalo de 1 hora, la escala usada para la evaluación se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3: Nivel de daño**

NIVEL	DESCRIPCIÓN
0	Planta sin daño
1	1-20% de foliolos necrosados, tallo vivo
2	21-40% de foliolos necrosados, tallo vivo
3	41-60% de foliolos necrosados, tallo vivo
4	61-80% de foliolos necrosados, tallo vivo
5	81-100% de foliolos necrosados, tallo vivo
6	Planta totalmente muerta

### 3.7.2. Cantidad de estomas por campo óptico

Se recolectaron 5 folíolos por cada accesión, tomadas del tercio superior de la planta. Los tejidos fueron sumergidos en alcohol de 90% por una hora, luego se procedió a separar la epidermis del envés haciendo un corte cercano a una nervadura con ayuda de pinzas y bisturí, el tejido se colocó en un portaobjeto donde se añadió una gota de lugol y se colocó con el cubreobjeto (Huamán, 1995). Las muestras fueron observadas en un microscopio binocular, con ayuda del lente óptico de Dino Capture 2.0 se tomaron fotos a un aumento de 100x. Se tomaron 5 lecturas por cada accesión evaluada.

### 3.7.3. Cantidad de clorofila

La cantidad de clorofila fue medida con ayuda del equipo SPAD 502 Plus. Se seleccionaron folíolos de la parte tercia superior y se tomaron 5 mediciones por accesión. La toma de datos se realizó en vivero y campo.

El equipo fue calibrado cada 20 tomas realizadas.

### 3.7.4. Color de tallo

Se realizó la caracterización de las accesiones con ayuda de los niveles incluidos en las guías de descriptores morfológicos para papa más usados (INIA, 2016; Huamán, 2008). Donde se considera que en los 3 primeros niveles predomina el verde y del nivel 4 al 7 domina el pigmentado (Gómez, 2000). En la tabla 4 se muestran los códigos pertenecientes al color del tallo de la papa.

**Tabla 4: Nivel de color de tallo**

Código	Color de tallo
1	Verde
2	Mayormente verde
3	Verde con muchas manchas pigmentadas
4	Pigmentado con muchas manchas verdes
5	Mayormente pigmentado
6	Rojo
7	Morado

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Tamizado a bajas temperaturas

#### 4.1.1. Nivel de daño a menos cuatro grados centígrados

En la Tabla 5 se observa el nivel de daño registrado luego de someter cada una de las accesiones a una temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$  por una hora.

Para el presente trabajo, las accesiones que obtuvieron un nivel de daño promedio igual o mayor a 4, se consideran susceptible. El grado de tolerancia medio, se consideró con un nivel de daño promedio que va de mayor de 2 y menor a 4. Finalmente, plantas con un nivel de daño promedio igual o menor a 2 son consideradas tolerantes a bajas temperaturas.

Se encontraron 19, 25 y 16 accesiones de grados de tolerancia susceptible, medio y tolerantes respectivamente (Tabla 5).

**Tabla 5: Número de accesiones por grado de tolerancia**

Nivel de daño a $-4^{\circ}\text{C}$		
Grado de tolerancia	Rango	Número de accesiones
Susceptible	4 a 6	19
Medio	$>2$ y $<4$	25
Tolerante	0 a 2	16

Las accesiones con los niveles de daño más altos dentro de las susceptibles fueron Tantalla turqueza (Pe-143), Khuchi Q'allu (Pe-146), Yuraq K'usi (Pe-070) y Liberteña (Pe-125).

Dentro de las tolerantes, las accesiones con menor nivel de daño fueron 302951.31 (Pe-045), Callina Shiri (Pe-019), China Shiri (Pe-016), Frageada Alianza (Pe-105), Patallaqta (Pe-084) y Lomo Jaspeado (Pe-147).

Los resultados muestran que existen accesiones con grados susceptibles, medios y tolerantes dentro de las cinco regiones evaluadas. Esto demuestra que existe una gran diversidad de material genético, la cual se va adaptando con el tiempo, desarrollando accesiones con diferentes grados de tolerancia (Tabla 6).

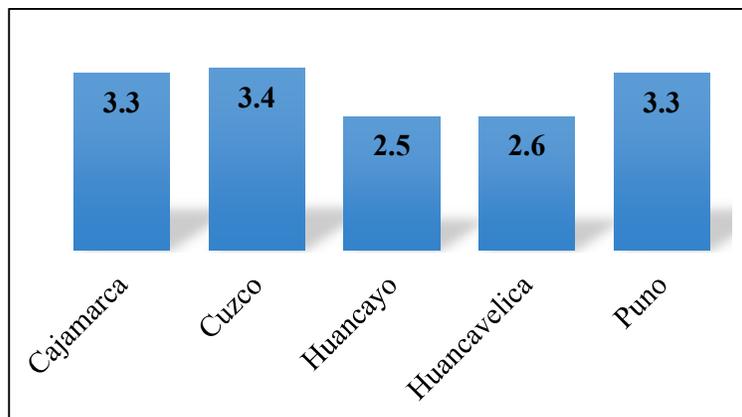
**Tabla 6: Nivel de daño a -4°C por una hora**

Código	Grado de Tolerancia	Procedencia	Nombre Común	Nivel de Daño a -4 °C			
				I	II	III	u
Pe-143	Susceptible	Puno	Tantalla Turqueza	5	5	5	5.0
Pe-146	Susceptible	Puno	Khuchi Q'allu	5	5	5	5.0
Pe-070	Susceptible	Cuzco	Yuraq K'usi	5	5	5	5.0
Pe-125	Susceptible	Cajamarca	Liberteña	5	5	5	5.0
Pe-129	Susceptible	Puno	Waka Laqra	5	4	5	4.7
Pe-131	Susceptible	Puno	Morado	4	5	5	4.7
Pe-208	Susceptible	Huancayo	Yana huayro	5	5	4	4.7
Pe-178	Susceptible	Puno	Pe-178	4	4	5	4.3
Pe-092	Susceptible	Cuzco	Puka lomo	5	4	4	4.3
Pe-117	Susceptible	Cajamarca	Pura	4	5	4	4.3
Pe-113	Susceptible	Cajamarca	Limeña centro rojo	5	4	4	4.3
Pe-154	Susceptible	Puno	Piña Blanca	3	5	4	4.0
Pe-168	Susceptible	Puno	Juan Domingo	5	4	3	4.0
Pe-093	Susceptible	Cuzco	Puka p'alta	5	3	4	4.0
Pe-006	Susceptible	Huancavelica	Ccanchillo	4	4	4	4.0
Pe-067	Susceptible	Cuzco	Yana Lontus	4	4	4	4.0
Pe-122	Susceptible	Cajamarca	Pe-122	5	3	4	4.0
Pe-142	Susceptible	Puno	Casa Blanca	5	4	3	4.0
Pe-037	Susceptible	Huancavelica	Duraznillo	3	5	4	4.0
Pe-042	Medio	Huancavelica	Poqya	3	4	4	3.7
Pe-201	Medio	Huancayo	Perdiza runtun	4	3	4	3.7
Pe-120	Medio	Cajamarca	Negra centro amarillo	4	3	4	3.7
Pe-103	Medio	Cajamarca	Queta	5	4	1	3.3
Pe-152	Medio	Puno	Pepino	2	2	5	3.0
Pe-051	Medio	Huancayo	399058.12	4	4	1	3.0
Pe-047	Medio	Huancayo	396034.18	3	3	3	3.0
Pe-083	Medio	Cuzco	Muro Waman uma	3	3	3	3.0
Pe-100	Medio	Cajamarca	Santa María	2	3	4	3.0
Pe-112	Medio	Cajamarca	Huagalina	3	2	4	3.0
Pe-215	Medio	Cuzco	Muru Olomes	4	0	4	2.7
Pe-190	Medio	Huancayo	Mauna	2	3	3	2.7
Pe-205	Medio	Huancayo	Huayta chuco	2	3	3	2.7
Pe-004	Medio	Huancavelica	Pumapa maquin	1	4	3	2.7
Pe-025	Medio	Huancavelica	Galindo gaspar	2	3	3	2.7
Pe-124	Medio	Cajamarca	Colorada centro amarillo	0	4	4	2.7

«continuación»

Pe-157	Medio	Puno	Parqo Morado	1	3	3	2.3
PE-052	Medio	Huancayo	399079.4	5	1	1	2.3
Pe-188	Medio	Huancayo	Muru Huayro	1	3	3	2.3
Pe-189	Medio	Huancayo	Palta murunqui	5	2	0	2.3
Pe-203	Medio	Huancayo	Sumacc soncco	1	2	4	2.3
Pe-209	Medio	Huancayo	Ishcupuro	2	3	2	2.3
Pe-010	Medio	Huancavelica	Huaña	2	1	4	2.3
Pe-185	Medio	Puno	Loka	3	3	1	2.3
Pe-184	Medio	Puno	Piñaza	2	2	3	2.3
Pe-148	Tolerante	Puno	Ch'ikiña Blanca	5	0	1	2.0
Pe-048	Tolerante	Huancayo	395112.19	0	3	3	2.0
Pe-191	Tolerante	Huancayo	Pumapa maquin negro	3	2	1	2.0
Pe-002	Tolerante	Huancavelica	Puka camotillo	2	2	2	2.0
Pe-102	Tolerante	Cajamarca	Chiquibonita	2	2	2	2.0
Pe-166	Tolerante	Puno	Pe-166	3	1	1	1.7
Pe-044	Tolerante	Huancayo	302231.12	3	1	1	1.7
Pe-204	Tolerante	Huancayo	Yana lengua de vaca	1	2	2	1.7
Pe-206	Tolerante	Huancayo	Calito	1	1	3	1.7
Pe-012	Tolerante	Huancavelica	Suytu camotillo	2	1	2	1.7
Pe-045	Tolerante	Huancayo	302951.31	2	1	1	1.3
Pe-019	Tolerante	Huancavelica	Callina shiri	1	2	1	1.3
Pe-016	Tolerante	Huancavelica	China shiri	1	1	2	1.3
Pe-105	Tolerante	Cajamarca	Frageada alianza	4	0	0	1.3
Pe-084	Tolerante	Cuzco	Patallaqta	1	0	2	1.0
Pe-147	Tolerante	Puno	Lomo Jaspeado	0	0	1	0.3

El promedio total del nivel de daño por regiones fue de 2.5 (Huancayo), 2.6 (Huancavelica), 3.3 (Puno y Cajamarca) y 3.4 (Cuzco). El material genético proveniente de Huancayo es una población desarrolla para la tolerancia al estrés generado por bajas temperaturas, lo cual se demuestra con el promedio más bajo a comparación de Puno, Cajamarca, Cuzco y Huancavelica. Sin embargo, se esperaba que el material genético de Puno serían los más tolerantes a las heladas, con las papas amargas (Figura 1).



**Figura 1: Nivel de daño por región.**

#### **4.1.2. Nivel de daño a menos ocho grados centígrados**

Las accesiones que se consideran medio tolerantes y tolerantes; fueron sometidas a una temperatura de  $-8^{\circ}\text{C}$  por una hora, en la tabla 6 se presentan los niveles de daño observados luego de la exposición por una hora. Se sometieron 35 accesiones de las iniciales.

Las accesiones que mostraron un nivel de daño menor a 5 fueron: 396034.18 (Pe-047), Muru Huayro (Pe-188), Puka Camotillo (Pe-002), Suytu Camotillo (Pe-012), 302231.12 (Pe-044), 395112.19 (Pe-048), Sumacc Sonco (Pe-203) y Huaña (Pe-010).

Estas accesiones provienen de Huancayo (5 accesiones) y Huancavelica (3 accesiones).

Se tiene conocimiento que las variedades de papa cultivadas son sensibles a temperaturas menores a  $-2.5^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, algunas especies silvestres incrementan su tolerancia a temperaturas tan bajas como  $-10^{\circ}\text{C}$  si pasan por un periodo de aclimatación. (Chen y Li, 1980; Costa y Li, 1992; Vega y Bamberg, 1995). Esto se ve reflejado en cuatro accesiones (396034.18, Muru Huayro, Sumacc Soncco y Huaña) que fueron consideradas con grado de tolerancia medio luego de la exposición a menos cuatro grados (tabla 6) pero luego de ser sometidos a una temperatura de  $-8^{\circ}\text{C}$ , mostraron niveles de daño bajos con respecto a otras accesiones tolerantes (tabla 7). Por lo que se considera que presentan gran capacidad de adaptación luego de una exposición previa a bajas temperaturas.

**Tabla 7: Nivel de daño a -8°C por una hora**

Código	Nombre Común	Procedencia	Nivel de Daño a -8 °C			
			I	II	III	u
Pe-142	Casa Blanca	Puno		6.0	6.0	<b>6.0</b>
Pe-152	Pepino	Puno	6.0	6.0		<b>6.0</b>
Pe-045	302951.31	Huancayo	6.0	6.0	6.0	<b>6.0</b>
Pe-206	Calito	Huancayo	6.0	6.0		<b>6.0</b>
Pe-004	Pumapa maquin	Huancavelica	6.0		6.0	<b>6.0</b>
Pe-100	Santa María	Cajamarca	6.0	6.0		<b>6.0</b>
Pe-190	Mauna	Huancayo	5.0	6.0	6.0	<b>5.7</b>
	Pumapa maquin					
Pe-191	negro	Huancayo	6.0	5.0	6.0	<b>5.7</b>
Pe-205	Huayta chuco	Huancayo	6.0	6.0	5.0	<b>5.7</b>
Pe-184	Piñaza	Puno	6.0	5.0	6.0	<b>5.7</b>
Pe-209	Ishcupuro	Huancayo	5.0		6.0	<b>5.5</b>
Pe-148	Ch'ikiña Blanca	Puno		5.0	6.0	<b>5.5</b>
Pe-166	Pe-166	Puno		6.0	5.0	<b>5.5</b>
Pe-052	399079.4	Huancayo		5.0	6.0	<b>5.5</b>
Pe-102	Chiquibonita	Cajamarca		5.0	6.0	<b>5.5</b>
Pe-105	Frageada alianza	Cajamarca		5.0	6.0	<b>5.5</b>
Pe-025	Galindo gaspar	Huancavelica	5.0	5.0	6.0	<b>5.3</b>
Pe-147	Lomo Jaspeado	Puno	5.0	6.0	5.0	<b>5.3</b>
Pe-019	Callina shiri	Huancavelica	5.0	6.0	5.0	<b>5.3</b>
Pe-185	Locka	Puno	6.0	5.0	5.0	<b>5.3</b>
Pe-157	Yana lengua de vaca	Puno	5.0	5.0		<b>5.0</b>
Pe-189	Palta murunqui	Huancayo		5.0	5.0	<b>5.0</b>
Pe-204	Yana lengua de vaca	Huancayo	5.0	5.0		<b>5.0</b>
Pe-016	China shiri	Huancavelica	5.0	5.0	5.0	<b>5.0</b>
Pe-084	Patallaqta	Cuzco	5.0	5.0	5.0	<b>5.0</b>
Pe-083	Muro Waman uma	Cuzco	6.0	4.0		<b>5.0</b>
Pe-112	Huagalina	Cajamarca	5.0	5.0		<b>5.0</b>
Pe-047	396034.18	Huancayo	3.0	5.0	6.0	<b>4.7</b>
Pe-188	Muru Huayro	Huancayo	5.0	6.0	3.0	<b>4.7</b>
Pe-002	Puka camotillo	Huancavelica	2.0	6.0	6.0	<b>4.7</b>
Pe-012	Suytu camotillo	Huancavelica	6.0	5.0	3.0	<b>4.7</b>
Pe-044	302231.12	Huancayo		4.0	5.0	<b>4.5</b>
Pe-048	395112.19	Huancayo	6.0		2.0	<b>4.0</b>
Pe-203	Sumacc soncco	Huancayo	3.0	5.0		<b>4.0</b>
Pe-010	Huaña	Huancavelica	2.0	3.0		<b>2.5</b>

#### 4.2. Cantidad de estomas

La cantidad de estomas por campo óptico y agrupación de promedios por la prueba Tukey se muestran en la Figura 2.

La tabla 8 muestra el análisis de varianza donde existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente en comparación de las demás para la cantidad promedio de estomas.

**Tabla 8: Análisis de varianza de la cantidad de estomas por campo óptico**

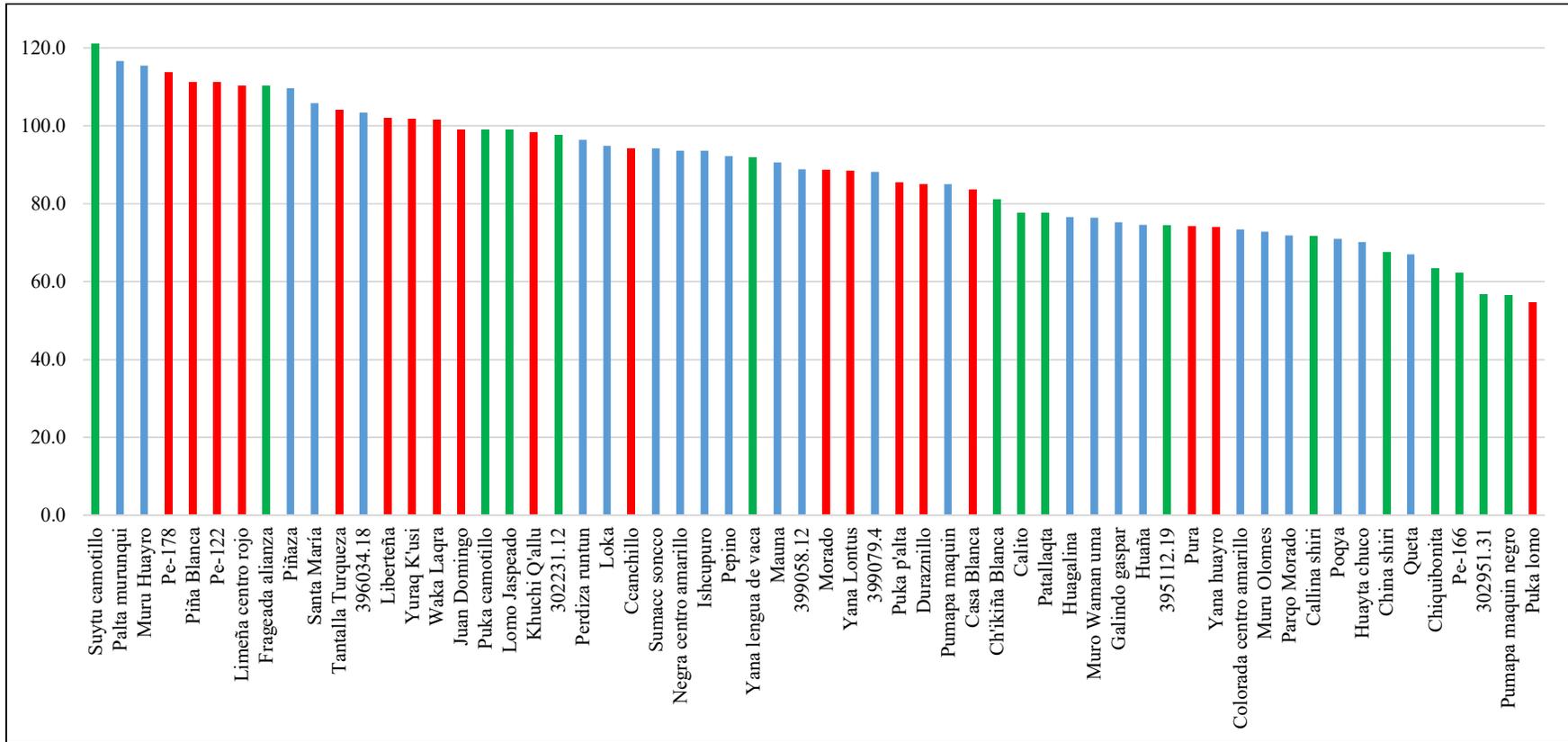
	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F</b>	<b>Value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Accesiones	59	81799	1386.4	24.62	<2e-16	***
Error	239	13460	56.3			

Las cantidades promedio de estomas por accesión varían en un rango de 54.8 a 121.2 unidades por campo óptico.

La prueba de Tukey arroja que existe diferencia entre promedios por accesión, teniendo como accesiones con mayor número de estomas a Suytu Camotillo (Pe-012), Palta Murunqui (Pe-189), Muru Huayro (Pe-188) y Pe-178.

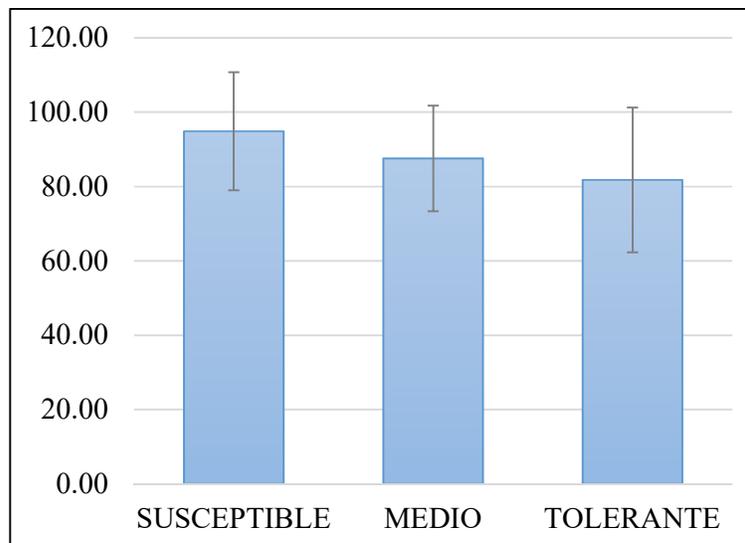
Entre los promedios más bajos se encuentran las accesiones Chiquibonita (Pe-102), Pe-166, 302951.31 (Pe-045), Pumapa Maquin Negro (Pe-191) y Puka Lomo (Pe-092).

Los promedios de cantidad de estomas por campo óptico obtenidos fueron de 93.8, 87.9 y 81.8 para las accesiones susceptibles, medias y tolerantes respectivamente. Esto muestra que el promedio de las accesiones susceptibles es mayor en un 14.6% en comparación a las accesiones tolerantes y un 7.5% superior a las accesiones consideradas con grado de tolerancia medio; esto se reflejado en la Figura 3.



**Figura 2: Cantidad de estomas y grado de tolerancia a -4 °C.**

- Tolerante
- Medio
- Susceptible



**Figura 3: Promedio de estomas por grado de tolerancia.**

Existe una tendencia negativa teniendo en cuenta el grado de tolerancia de las accesiones. Esto supone que a mayor grado de tolerancia el número de estomas por campo óptico disminuye.

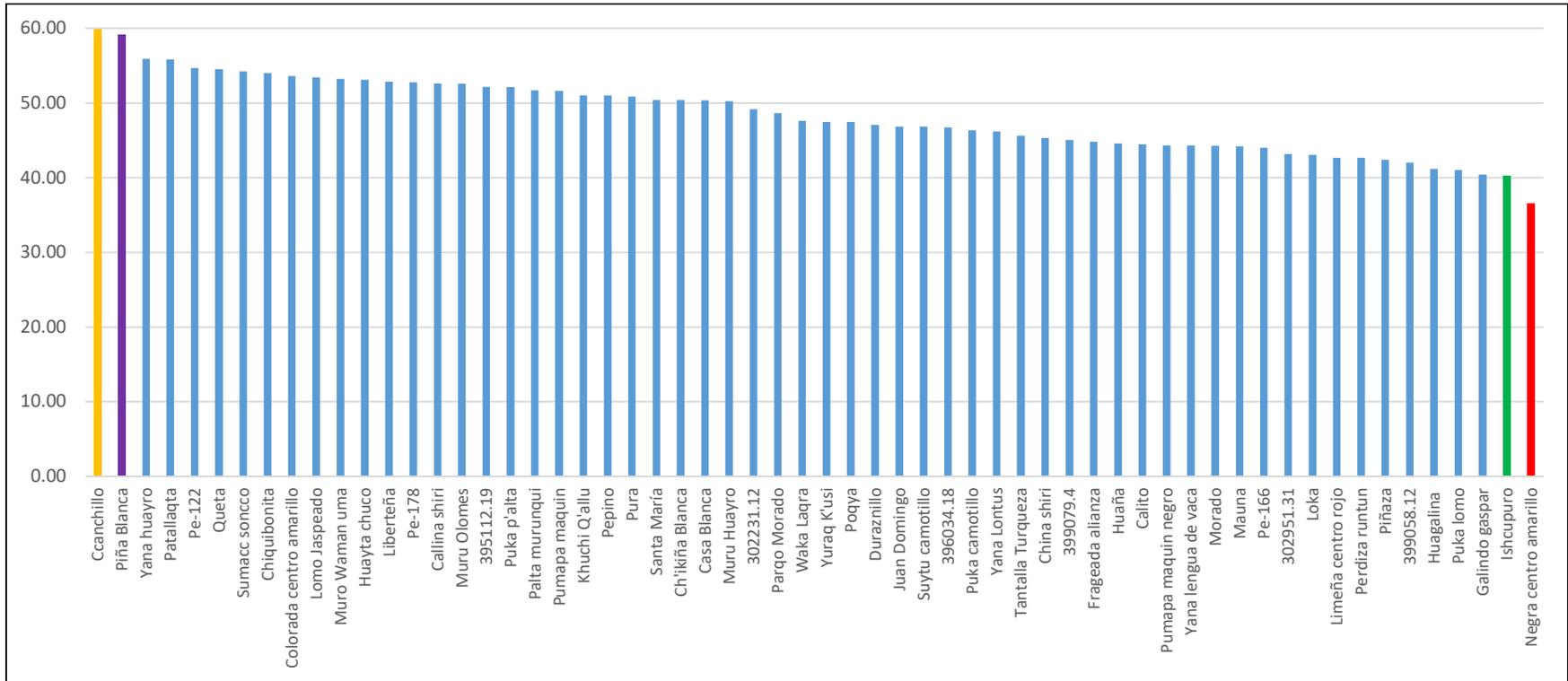
### 4.3. Contenido de clorofila

#### 4.3.1. Clorofila en campo

El contenido promedio de clorofila en campo por accesión se registra en la figura 4, donde se muestran los agrupamientos por la prueba de Tukey y desviación estándar de cada una. La tabla 9 muestra el análisis de varianza donde existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente en comparación de las demás para el contenido de clorofila en campo.

**Tabla 9: Análisis de varianza para el contenido de clorofila en campo**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
Accesiones	59	7556	128.06	2.943	3.23E-09	***
Error	240	10443	43.51			



**Figura 4:** Contenido de clorofila en campo y agrupación de promedios por prueba de Tukey.

El promedio de la cantidad de clorofila en campo por accesión da como resultado valores desde 36.56 hasta 59.88 unidades SPAD.

Las accesiones que se diferencian del resto según la prueba de Tukey por tener mayores valores son Ccanchillo (Pe-006) y Piña Blanca (Pe-154), mientras que las accesiones con menor cantidad de clorofila fueron Ishcupuro (Pe-209) y Negra Centro Amarillo (Pe-120). Se observa que 56 accesiones (93.3%) no tienen diferencias entre promedio significativas con la prueba Tukey.

Las accesiones que presentaron mayor desviación estándar fueron Pe-122, Colorada Centro Amarillo (Pe-124), Liberteña (Pe-125), Muru Olomes (Pe-215) y Muru Huayro (Pe-188).

#### 4.3.2. Clorofila en Vivero

La prueba de Tukey da como resultado que existe diferencia entre promedios de por lo menos una accesión evaluada para el contenido de clorofila en vivero (Figura 5).

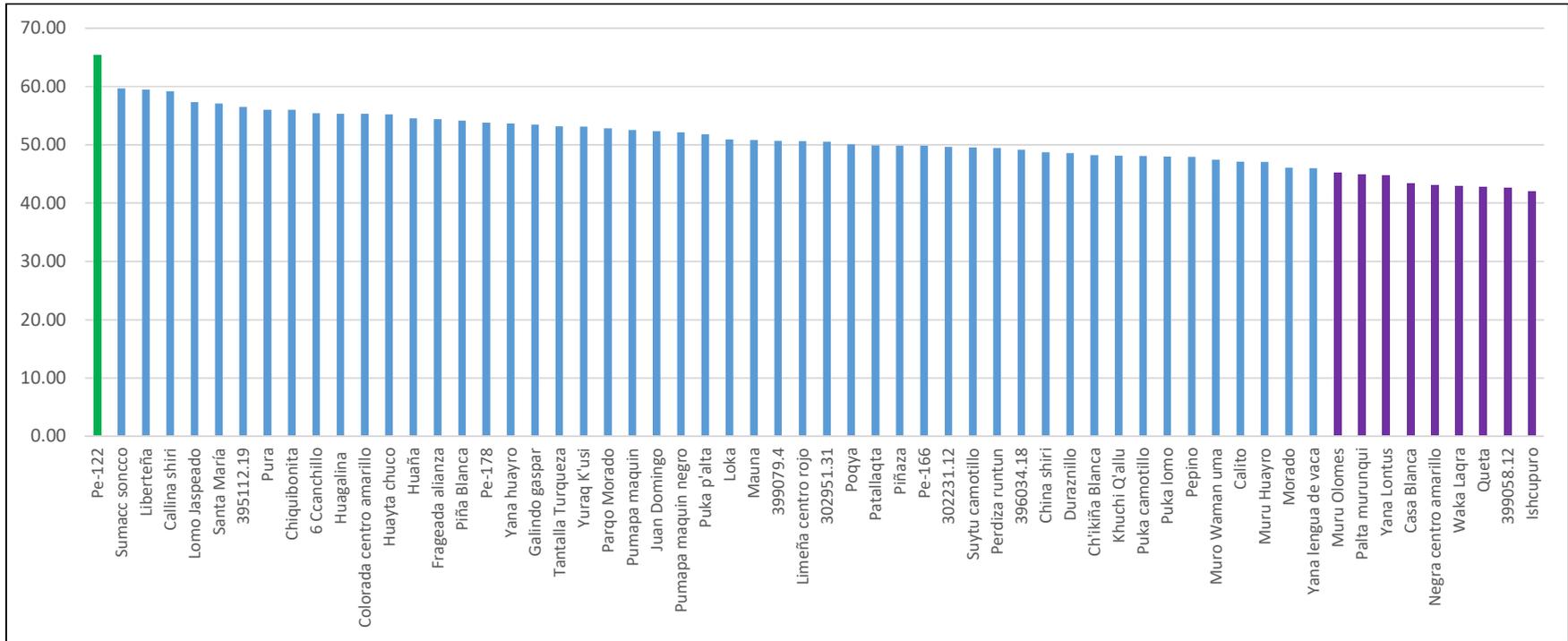
La Tabla 10 muestra el análisis de varianza donde existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente en comparación de las demás para el contenido de clorofila en vivero.

**Tabla 10: Análisis de varianza para el contenido de clorofila en vivero**

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F</b>	<b>value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Accesiones	59	7006	118.74	8.044	<2e-16	***
Error	240	3543	14.76			

La accesión con mayor cantidad de clorofila en campo es Pe-122 y el grupo con menor promedio lo conforman las accesiones Muru Olomes (Pe-215), Palta Murunqui (Pe-189), Yana Lontus (Pe-067), Casa Blanca (Pe-142), Negra Centro Amarillo (Pe-120), Waka Laqra (Pe-129), Queta (Pe-103), 399058.12 (Pe-051) y Ishcupuro (Pe-209).

El 83.3% de accesiones no presentan diferencias significativas entre sus promedios.



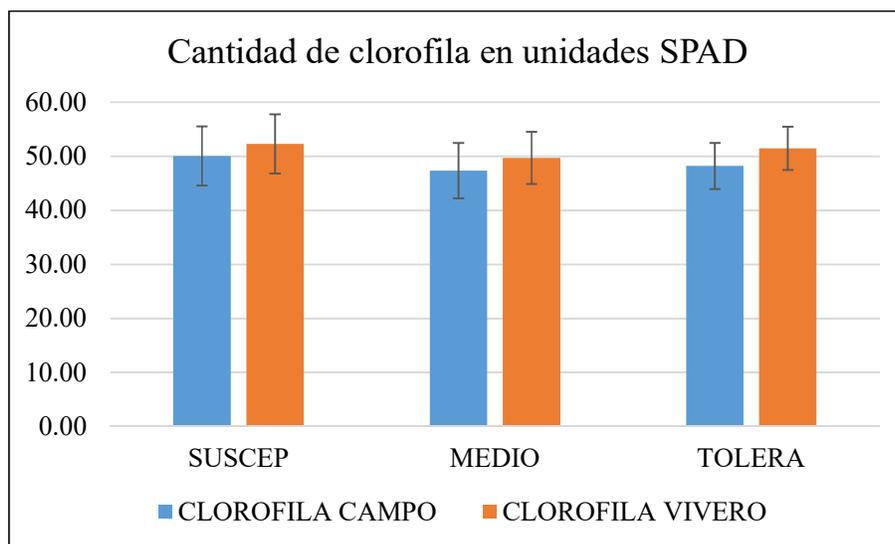
**Figura 5: Contenido de clorofila en vivero y agrupación de promedios por prueba de Tukey.**

En la Figura 6, se observa que en los tres tipos de accesiones (susceptibles, medios y tolerantes) se obtuvo que el promedio total de contenido de clorofila en vivero (50.91 unidades SPAD) es mayor en un 5.3% en comparación al promedio del contenido de clorofila en campo (48.35 unidades SPAD).

Respecto a las accesiones susceptibles, la cantidad de clorofila resultante en vivero es 4.5% superación a la cantidad obtenida en campo.

En las accesiones de grado de tolerancia medio, la cantidad de clorofila en vivero es mayor en un 5% comparado con la obtenida en campo.

Las accesiones tolerantes presentan una cantidad de clorofila en vivero mayores en un 6.8% con respecto a la cantidad en campo.

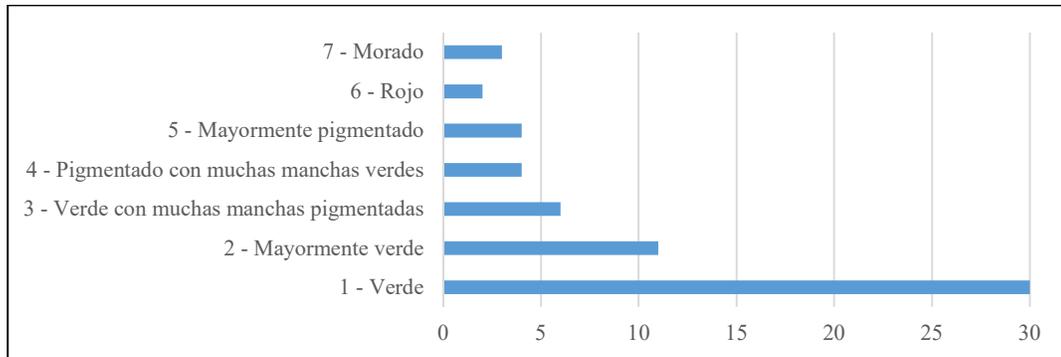


**Figura 6: Contenido de clorofila en campo y vivero por grado de tolerancia.**

No existe una tendencia marcada de las cantidades de clorofila obtenidas en campo y en vivero en relación con el grado de tolerancia para ninguno de los dos casos.

#### 4.4. Color de tallo

De las accesiones evaluadas se cuenta con un total de 30 accesiones con tallo totalmente verde (nivel 1), 11 con el tallo mayormente verde (nivel 2), 6 con el tallo verde con muchas manchas pigmentadas (nivel 3), 4 con el tallo pigmentado con muchas manchas verdes (nivel 4), 4 con el tallo mayormente pigmentado (nivel 5), 3 con el tallo rojo (nivel 6) y 3 con el tallo morado (nivel 7) (Figura 7).



**Figura 7: Número de accesiones evaluadas por nivel de pigmentación.**

En el nivel 1, 2, 3 y 4 se encontraron accesiones del tipo susceptible, medio tolerante y tolerante.

Dentro de las accesiones que presentaron niveles más altos de color en el tallo (5, 6 y 7) no se encontraron accesiones de tipo susceptible. Choque et al., (2007), mencionan que accesiones que presentan algún porcentaje de pigmentación son más tolerantes en comparación a las que no tienen pigmentación. Pino (2015) menciona que, algunas especies tolerantes a bajas de temperatura se asocian a la presencia de pigmentos antocianicos con propiedades farmacológicas y terapéuticas tanto en el tallo y las hojas.

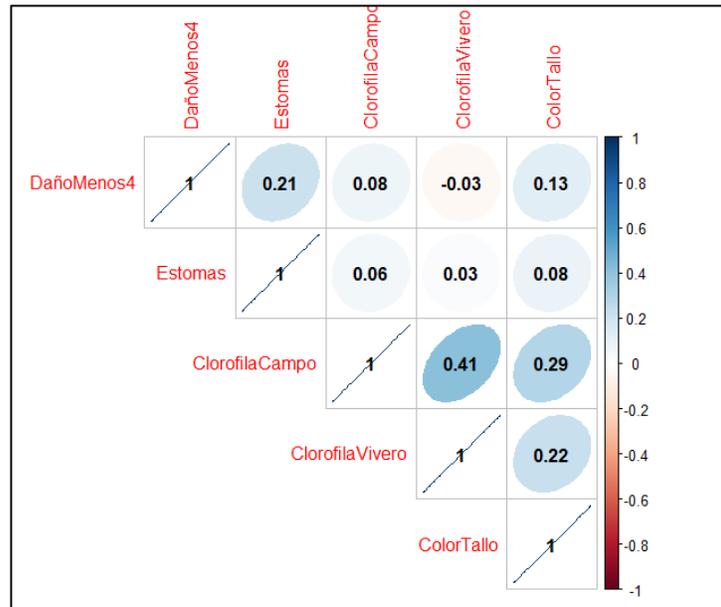
#### 4.5. Correlación entre variables

Para el presente trabajo, las correlaciones más importantes son las relacionadas con el nivel de daño a menos 4°C y a menos 8 °C.

#### 4.5.1. Respecto al nivel de daño a menos cuatro grados

En la figura 8, se muestran las correlaciones entre las variables evaluadas en el presente trabajo: nivel de daño, cantidad de estomas por campo óptico, contenido de clorofila en campo, contenido de clorofila en vivero y color de tallo.

Mediante la prueba de Pearson, se obtiene que no existen correlaciones significativas entre las variables evaluadas.



**Figura 8: Correlación de Pearson de las variables evaluadas con nivel daño a -4 °C.**

Existe una correlación directa entre el nivel de daño a -4°C y la cantidad de estomas, esto quiere decir que, a mayor número de estomas por campo óptico, el nivel de daño será mayor, sin embargo, el coeficiente de correlación es bajo ( $r=0.21$ ).

Pese al bajo valor obtenido, esto concuerda con Quintana (2018) que concluye que, a menor número de estomas existe una mayor tolerancia. Estrada (2000) relaciona una mayor tolerancia con una menor área de estomas. Sin embargo, contradice lo mencionado por Palta y Li (1979) y Marmolejo y Ruiz (2018) quienes concluyen que la resistencia a heladas se asocia con un mayor número de estomas por campo óptico.

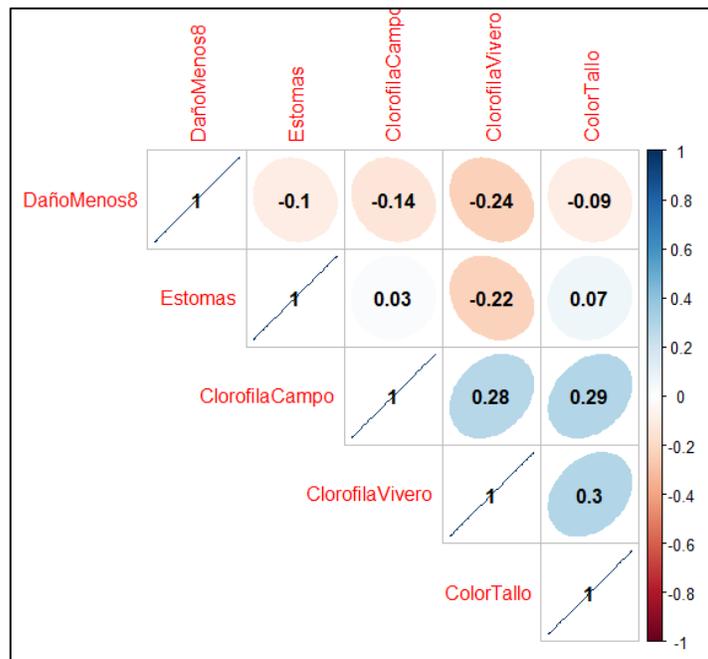
No existe una correlación significativa entre el nivel de daño a  $-4^{\circ}\text{C}$  y el contenido de clorofila tomada en campo y en vivero ( $r=0.08$  y  $r=-0.03$  respectivamente). Esto concuerda con lo obtenido por Quintana (2018) quien concluye que el contenido de clorofila no guarda relación con la tolerancia a bajas temperaturas.

El coeficiente de correlación entre nivel de daño y color de tallo no es significativo ( $r=0.13$ ), lo cual concuerda con Quintana (2018) quien concluye que el color de tallo no tiene relación con la tolerancia.

#### 4.5.2. Respecto al nivel de daño a menos ocho grados

Las correlaciones obtenidas no presentan valores significativos (figura 9), lo cual se repite con lo obtenido en las correlaciones a menos cuatro grados (Figura 8).

El valor más alto relacionado al nivel de daño a  $-8^{\circ}\text{C}$  se da con la variable cantidad de clorofila en vivero, con una correlación indirecta ( $r=-0.24$ ). Lo que supone que existe un mayor nivel de daño cuando la cantidad de clorofila es menor.



**Figura 9:** Correlación de Pearson de las variables evaluadas con nivel de daño a  $-8^{\circ}\text{C}$ .

Se obtiene una correlación negativa ( $r=-0.1$ ) entre el nivel de daño a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la cantidad de estomas, lo cual difiere con lo obtenido a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  donde la correlación resulta positiva ( $r=0.21$ ). Esta diferencia se repite en la correlación entre nivel de daño y contenido de clorofila en campo donde el valor para  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  fue de negativo ( $r=-0.14$ ) y para  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  fue positivo ( $r=0.08$ ). Para el caso del contenido de clorofila en vivero la correlación varía de  $r=-0.24$  en  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $r=0.03$  a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De igual manera para el nivel de daño y el color de tallo, con un resultado negativo en  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r=-0.09$ ) y positivo en  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r=0.13$ ).

## V. CONCLUSIONES

- Existen diferentes grados de tolerancia a bajas temperaturas en las accesiones de papa procedentes de Cajamarca, Cuzco, Huancavelica, Huancayo y Puno. Algunas de estas aumentan la tolerancia siempre y cuando pasen por un periodo de aclimatación o exposición previa y/o responden a diferentes grados de madurez fisiológica de la planta.
- Existe una correlación negativa entre la cantidad de estomas por campo óptico y el grado de tolerancia, pero no llega a ser significativa estadísticamente, tanto a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- El contenido de clorofila tanto en campo como en vivero y color de tallo no mostraron relación con el nivel de daño en ambas temperaturas bajas.
- La correlación que existe entre el nivel de daño de una accesión y la cantidad de estomas, cantidad de clorofila en campo, cantidad de clorofila en vivero y color de tallo varía a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Probar el comportamiento de las accesiones identificadas con grado de tolerancia medio y tolerante en condiciones de campo para confirmar los resultados del presente trabajo.
- Realizar la prueba con un mayor número de repeticiones con las accesiones clasificadas con grado de tolerancia medio y tolerante.
- Evaluar otras características como grosor del parénquima, contenido relativo de agua y hábito de crecimiento para corroborar si tienen alguna relación con el nivel de daño en campo.
- Estudiar la conductancia estomática en relación al nivel de daño a bajas temperaturas.
- Evaluar la capacidad de adaptación de las accesiones con y sin exposiciones previas de bajas temperaturas.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Amagua, J. (2013). Respuesta a bajas temperaturas en treinta genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones controladas. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador.
- Amiri, M.; Yureva, O.; Shimshilashvili, R.; Goldenkova-Pavlova, V.; Pchekin, P.; Kuznitsova, I. & Nosov, M. (2010). Expression of acyl-lipid  $\Delta 12$ -desaturase gene in prokaryotic and eukaryotic cells and its effect on cold stress tolerance of potato. *Journal of integrative plant biology*, 52(3), 289-297.
- Andre, C.; Oufir, M.; Hoffmann, L.; Hausman, J.F.; Rogez, H.; Larondelle, Y. & Evers, D. (2009). Influence of environment and genotype on polyphenol compounds and in vitro antioxidant capacity of native Andean potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*.
- Barros, V. (2004). *Cambio climático global*. Libros del zorzal.
- Benítez, I. y Nilver R. (2015). Tolerancia a heladas de clones y variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en diferentes ambientes de la región de Huancavelica. Jauja: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Bindi, M.; Hacour, A.; Vandermeiren, K.; Craigon, J.; Ojanpera, K.; Sellden, G.; ... & Fibbi, L. (2002). Chlorophyll concentration of potatoes grown under elevated carbon dioxide and/or ozone concentrations. *European Journal of Agronomy*, 17(4), 319-335.
- Brush, S.; Kesseli, R.; Ortega, R.; Cisneros, P.; Zimmerer, K.; & Quiros, C. (1995). Potato diversity in the Andean center of crop domestication. *Conservation Biology*, 9(5), 1189-1198.

- Cahuana, R. & Arcos, J. (1993). Variedades de papa más importantes en Puno y lineamientos para su caracterización. Programa interinstitucional de Waru Waru. La Paz, Bolivia.
- Calle, V. y Unsihuay, F. (2010). Meteorología General. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Dpto. de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología. Perú. 93-98 pp.
- Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Editorial Trillas. México. 320 pp.
- Carrasco, E. (1993). Estudios de la herencia de las heladas en clones nativos *Solanum tuberosum* ssp. andigena de Bolivia. Universidad Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Chang, C.; Sohn, B.; Cho, H.; Im S.; Jin, I.; Do, R.; Kim, J.; Cho, M. & Lee, B. (2014). Freezing and Frost Damage of Potato Plants: a Case Study on Growth Recovery, Yield Response, and Quality Changes. *Potato Research*, 57(2), 99-110.
- Chen, H. & Li, H. (1980). Characteristics of cold acclimation and deacclimation in tuber-bearing *Solanum* species. *Plant Physiology*, 65(6), 1146-1148.
- Choque, E.; Espinoza, R.; Cadima, X.; Zeballos, J. & Gabriel, J. (2007). Resistencia a helada en germoplasma de papa nativa de Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 14(1), 24-32.
- Claverias, R. & Quispe, C. (2002). Biodiversidad cultivada: una estrategia campesina para superar la pobreza y relacionarse con el mercado. Perú: el problema agrario en debate. Lima: Seminario Permanente de Investigación Agraria (SEPIA IX).
- Condori, B.; Hijmans, J.; Ledent, F. & Quiroz R. (2014). Managing potato biodiversity to cope with frost risk in the high Andes: a modeling perspective. *PloS one*, 9(1), e81510.
- Costa, A. & Li H. (2018). Development of cold hardiness in *Solanum tuberosum* by abscisic acid and mefluidide. In *Advances in Plant Cold Hardiness* (pp. 139-140). CRC Press.

- De Fina, L. (1945). *Los elementos climáticos y los cultivos*. (2da ed.) Editorial Sudamericana, Buenos Aires. 258 pp.
- Demidchik, V. & Straltsova, D. (2014). Stress-Induced electrolyte leakage: the role of K<sup>+</sup> permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustments. Oxford: *Journal of Experimental Botany*.
- Egúsquiza, R. (2000). La papa: producción, transformación y comercialización. UNALM. Convenio MSP ADEX-USAID.
- Elías, C. y Sentis, C. (2001). *Agrometeorología*. Edición mundi prensa SA. España.
- Espinosa, E. (2017). Evaluación del Daño por Frío en Veintiún Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum*) mediante las Metodologías de Nivel de Daño por Escala Visual y Fuga de Electrolitos. (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito. Ecuador.
- Estrada, N. (1982). Breeding wild and primitive potato species to obtain frost resistant cultivated varieties. In: Plant Hardiness and Freezing Stress. Mechanism and Crop Implications. Li, P.H. and Sakai, A. (Eds). Academic Press, New York, 615-633.
- Estrada, N. (2000). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. La Paz, Bolivia. Plural Editores.
- FAO (2008). Las papas, la nutrición y la alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html>
- Gómez, C. (2010). Las heladas en el Perú y el mundo. (Tesis de maestría). Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería. Huancayo, Perú.
- Gómez, R. (2000). Guía para las caracterizaciones morfológicas básicas en colecciones de papas nativas. Centro Internacional de la Papa (CIP), Germoplasma de Papa, Dpto. de Mejoramiento y Recursos Genéticos. CIP, Lima, Perú.
- Gutiérrez, R. (2008). Papas nativas desafiando al cambio climático: propuesta de adaptación

tecnológica del cultivo de papas nativas frente al cambio climático en Cusco y Ancash (Vol. 6). Soluciones Prácticas.

Haverkort, J. (1990). Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. *Agricultural Systems*, 32(3), 251-272.

Hawkes, J. (1962). The origin of *Solanum Juzepczukii* buk and *S. curtilobum* Juz. et Buk. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 47, 1-14.

Hijmans, R.J. (2003). The effect of climate change on global potato production. *American journal of potato research*, 80(4), 271-279.

Huamán, Z. (2008). Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.) Centro de Conservación de la biodiversidad agrícola de Tenerife. CCBAT. Tenerife, España.

Huamán, Z. y Spooner, D.M. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *American Journal of Botany*, 89(6), 947-965.

Huamán, Z. (1995). Técnicas citológicas para determinar el número cromosómico y la fertilidad de las papas. 18 pp.

INDECI. (2017). Compendio estadístico del INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). Recuperado de: <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201802271714541.pdf>

INEI. (2019). Nota de prensa N° 17 – 01 febrero 2019. Recuperado de <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n017-2019-inei.pdf>

INEI. (2012). IV censo nacional Agropecuario 2012. Recuperado de: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>.

INIA. (2016). Descriptores mínimos de papa (*Solanum* sp.) para el registro nacional de la

papa nativa peruana. (2da. ed.). noviembre 2016. 20 pp.

Kleinhenz, D.; Bamberg, B. & Palta, P. (1995). Use of stomatal index as a marker to screen backcross populations of two wild potato species segregating for freezing tolerance. *American potato journal*, 72(4), 243-250.

Lasso, L. (1987). Anotaciones sobre el fenómeno de las heladas. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-HIMAT. (2da. ed.). Bogotá, Colombia. 47 pp.

Marmolejo, D. & Ruiz, E. (2018). Tolerancia de papas nativas (*Solanum* spp.) a heladas en el contexto de cambio climático. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 393-400.

Matías, L.; Fuentes, O. y García F. (2007). Heladas. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112857/122-FASCCULOHELADAS.compressed.pdf>

McKersie, B.D.; Murnaghan, J.; Jones, K.S. & Bowley, S.R. (2000). Iron-superoxide dismutase expression in transgenic alfalfa increases winter survival without a detectable increase in photosynthetic oxidative stress tolerance. *Plant Physiology*, 122(4), 1427-1438.

MINAGRI. (2017). Boletín: Papa, características de la producción nacional y de la comercialización de lima metropolitana. Dirección general de políticas agrarias.

Molina, M. (2011). Simulación de daño por helada mediante defoliación y congelación en cámara frigorífica en el cultivo de papa. Universidad Pública de Navarra. España

Montalvo, M. (2019). Diversidad genética de papa nativa cultivada (*Solanum* sp.) de cuatro comunidades de Huancavelica. (Tesis de maestría) Lima, Perú.

Monteros, C.; Jiménez, J. & López, G. (2006). Conocimiento y percepción de las papas nativas en el Ecuador. Informe de trabajo. Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias (INIAP), Programa Nacional de Raíces y Tubérculos,

- rubro papa (PNRT-Papa), Proyecto papa andina. Quito, Ecuador.
- O'Kane, D.; Gill, V.; Boyd, P. & Burdon, R. (1996). Chilling, oxidative stress and antioxidant responses in *Arabidopsis thaliana* callus. *Planta*, 198(3), 371-377.
- ONU. (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Palta, P. & Li, H. (1979). Frost-Hardiness in Relation to Leaf Anatomy and Natural Distribution of Several *Solanum* Species 1. *Crop Science*, 19(5), 665-671.
- Palta, P. & Li, H. (1980). Alterations in membrane transport properties by freezing injury in herbaceous plants: Evidence against rupture theory. *Physiologia Plantarum*, 50(2), 169-175.
- Palta, P.; Whitaker, D. & Weiss, S. (1993). Plasma membrane lipids associated with genetic variability in freezing tolerance and cold acclimation of *Solanum* species. *Plant physiology*, 103(3), 793-803.
- Pereyra, R.; Angelocci, R. & Sentelhas, C. (2002). *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Universidade de Sao Paulo. Brasil.
- Pereyra, D. (1990). *Heladas en el Cofre de Perote: técnicas de protección*. Universidad Veracruzana. México.
- Pino, M. (2015). Buscando tolerancia a heladas en plantas silvestres de papa para crear nuevas variedades. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Platina, Santiago, Chile. CP: 8831314. Recuperado de: <https://medium.com/@redepapa/buscando-tolerancia-a-heladas-en-plantas-silvestres-de-papa-para-crear-nuevas-variedades-6b80b7886d01>
- Pino, T.; Skinner, S.; Jeknic, Z.; Park, J.; Hayes, M. & Chen H. (2006). Ectopic Overexpression of *AtCBF1* in Potato Enhances Freezing Tolerance. In: *Cold Hardiness in Plants: Molecular Genetics, Cell Biology, and Physiology*. Chen, T.H.H.,

- Uemura M., and Fujikawa, S. (Eds.). ISBN 0-851-99059-2 CABI International, Oxon, UK, 103- 123.
- Pumisacho, M. & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Quintana, C. (2018). Indicadores morfológicos y fisiológicos de la reacción a bajas temperaturas en plantas de Papas Nativas (*Solanum spp.*). (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Redacción, E.C. (17 de agosto de 2018). Heladas y nevadas: declaran en emergencia provincias de siete regiones debido a daños. Diario El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/heladas-nevadas-declaran-emergencia-provincias-siete-regiones-danos-consecuencia-noticia-547765-noticia/>
- Salisbury, B. & Ross, W. (2000). Fisiología de las plantas: desarrollo de las plantas y fisiología ambiental (No. QK711. 2 S3418 V. 3). Paraninfo.
- SENAMHI-FAO. (2010). Atlas de Heladas del Perú. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-1.pdf>
- Seppänen, M. & Coleman, D. (2003). Characterization of genotypic variation in stress gene expression and photosynthetic parameters in potato. *Plant, Cell & Environment*, 26(3), 401-410.
- Snyder, L.; Melo-Abreu, P. & Villar Mir, M. (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Volumen 2. FAO. 73-98.
- Solano, L. (2006). Botánica sistemática. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Somerville, C. (1991). Plant lipids: metabolism, mutants, and membranes. *Science*, 252(5002), 80-87.
- Soto, V. (2006). Análisis de la diversidad genética de papa nativa (*Solanum spp.*) de los

departamentos de Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huancavelica y Puno-Perú, mediante el uso de marcadores moleculares microsatélites. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Spooner, M.; McLean, K.; Ramsay, G.; Waugh, R. y Bryan, J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *proceedings of the national academy of sciences*, 102(41), 14694-14699.

Spooner, D.M. y Salas, A. (2006). Structure, biosystematics, and genetic resources. pp. 1-39. En: Gopal, J. y S.M. Paul Khurana (eds.). *Handbook of potato production, improvement, and postharvest management*. Haworth's Press, Binghampton, New York.

Steffen, L. & Jiwan, P. (1989). The Frost Tolerance of a Wild Potato Species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 114(4), 656-661.

Steponkus, L. (1984). Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annual Review of Plant Physiology*, 35(1), 543-584.

Sukumaran, P. & Weiser, J. (1972). Excised leaflet test for evaluating potato frost tolerance. *Hort Science*.

Taibe, A.; Rivadeneira, E.; Cuesta, X.; Monteros, J. & Kromann, P. (2017). Tolerancia a heladas en variedades nativas y mejoradas de papa.

Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.

Thomashow, F. (1999). Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annual review of plant biology*, 50(1), 571-599.

Toivio-Kinnucan, A.; Chen, H.; Li, H. & Stushnoff, C. (1981). Plasma membrane alterations in callus tissues of tuber-bearing solanum species during cold acclimation. *Plant physiology*, 67(3), 478-483.

- Tupac Yupanqui, A. (2001). Postcosecha y comercialización de tubérculos andinos con énfasis en papas nativas y ulluco. Ministerio de Agricultura del Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Vega, S. & Bamberg, J. (1995). Screening the US potato collection for frost hardiness. *American Potato Journal*, 72(1), 13-21.
- Wada, H.; Gombos, Z. & Murata, N. (1994). Contribution of membrane lipids to the ability of the photosynthetic machinery to tolerate temperature stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(10), 4273-4277.
- Winters, P.; Hintze, L. & Ortiz, O. (2006). Rural development and the diversity of potatoes on farms in Cajamarca, Peru. CABI Publishing: Washington, DC, USA.
- Zárate Malpica, A.H. & Miranda Zambrano, G.A. (2016). Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(1), 71-82.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Zona de procedencia y color de tallo de las 60 accesiones evaluadas

<b>Código</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Color de Tallo</b>
Pe-103	Cajamarca	Queta	2
Pe-102	Cajamarca	Chiquibonita	2
Pe-105	Cajamarca	Frageada alianza	3
Pe-100	Cajamarca	Santa María	6
Pe-124	Cajamarca	Colorada centro amarillo	1
Pe-120	Cajamarca	Negra centro amarillo	2
Pe-117	Cajamarca	Pura	1
Pe-113	Cajamarca	Limeña centro rojo	5
Pe-125	Cajamarca	Liberteña	3
Pe-112	Cajamarca	Huagalina	1
Pe-122	Cajamarca	Pe-122	5
Pe-092	Cuzco	Puka lomo	1
Pe-093	Cuzco	Puka p'alta	4
Pe-215	Cuzco	Muru Olomes	5
Pe-084	Cuzco	Patallaqta	3
Pe-067	Cuzco	Yana Lontus	2
Pe-070	Cuzco	Yuraq K'usi	1
Pe-083	Cuzco	Muro Waman uma	1
Pe-051	Huancayo	399058.12	1
Pe-045	Huancayo	302951.31	1
Pe-052	Huancayo	399079.4	1
Pe-044	Huancayo	302231.12	1
Pe-048	Huancayo	395112.19	1
Pe-047	Huancayo	396034.18	1
Pe-188	Huancayo	Muru Huayro	2
Pe-189	Huancayo	Palta murunqui	7
Pe-190	Huancayo	Mauna	1
Pe-191	Huancayo	Pumapa maquin negro	7
Pe-201	Huancayo	Perdiza runtun	1
Pe-203	Huancayo	Sumacc soncco	6
Pe-204	Huancayo	Yana lengua de vaca	2
Pe-205	Huancayo	Huayta chuco	5
Pe-206	Huancayo	Calito	1
Pe-208	Huancayo	Yana huayro	7
Pe-209	Huancayo	Ishcupuro	1
Pe-019	Huancavelica	Callina shiri	1

«continuación»

---

Pe-016	Huancavelica	China shiri	1
Pe-006	Huancavelica	Ccanchillo	2
Pe-002	Huancavelica	Puka camotillo	1
Pe-010	Huancavelica	Huaña	4
Pe-004	Huancavelica	Pumapa maquin	4
Pe-042	Huancavelica	Poqya	3
Pe-025	Huancavelica	Galindo gaspar	2
Pe-012	Huancavelica	Suytu camotillo	1
Pe-037	Huancavelica	Duraznillo	1
Pe-129	Puno	Waka Laqra	4
Pe-131	Puno	Morado	2
Pe-142	Puno	Casa Blanca	1
Pe-143	Puno	Tantalla Turqueza	1
Pe-146	Puno	Khuchi Q'allu	3
Pe-147	Puno	Lomo Jaspeado	2
Pe-148	Puno	Ch'ikiña Blanca	1
Pe-152	Puno	Pepino	1
Pe-154	Puno	Piña Blanca	1
Pe-157	Puno	Parqo Morado	1
Pe-166	Puno	Pe-166	1
Pe-168	Puno	Juan Domingo	2
Pe-178	Puno	Pe-178	3
Pe-185	Puno	Loka	1
Pe-184	Puno	Piñaza	1

---

**Anexo 2: Cantidad de estomas, desviación estándar y agrupación de promedios con prueba de Tukey**

Código	Nombre Común	Cantidad de estomas por campo óptico	
		Promedio ± Des. Est.	Tukey
Pe-012	Suytu camotillo	121.2 ± 18.17	a
Pe-189	Palta murunqui	116.6 ± 9.07	ab
Pe-188	Muru Huayro	115.4 ± 6.94	abc
Pe-178	Pe-178	113.8 ± 1.92	abcd
Pe-154	Piña Blanca	111.2 ± 3.89	abcde
Pe-122	Pe-122	111.2 ± 8.22	abcde
Pe-105	Frageada alianza	110.4 ± 10.26	abcde
Pe-113	Limeña centro rojo	110.4 ± 6.10	abcde
Pe-184	Piñaza	109.6 ± 4.97	abcdef
Pe-100	Santa María	105.8 ± 8.58	abcdefg
Pe-143	Tantalla Turqueza	104 ± 1.22	abcdefgh
Pe-047	396034.18	103.4 ± 15.14	abcdefgh
Pe-125	Liberteña	102 ± 5.14	abcdefghi
Pe-070	Yuraq K'usi	101.8 ± 3.27	abcdefghi
Pe-129	Waka Laqra	101.6 ± 9.76	abcdefghi
Pe-147	Lomo Jaspeado	99 ± 3.24	bcdefghij
Pe-168	Juan Domingo	99 ± 2.91	bcdefghij
Pe-002	Puka camotillo	99 ± 9.61	bcdefghij
Pe-146	Khuchi Q'allu	98.4 ± 9.71	bcdefghij
Pe-044	302231.12	97.6 ± 6.42	bcdefghij
Pe-201	Perdiza runtun	96.4 ± 6.22	cdefghijk
Pe-185	Loka	94.8 ± 8.61	defghijkl
Pe-203	Sumacc soncco	94.2 ± 5.54	defghijklm
Pe-006	Ccanchillo	94.2 ± 3.34	defghijklm
Pe-209	Ishcupuro	93.6 ± 5.02	efghijklmn
Pe-120	Negra centro amarillo	93.6 ± 4.21	efghijklmn
Pe-152	Pepino	92.2 ± 7.19	efghijklmno
Pe-204	Yana lengua de vaca	92 ± 7.71	efghijklmno
Pe-190	Mauna	90.6 ± 5.72	fghijklmnop
Pe-051	399058.12	88.8 ± 8.28	ghijklmnopq
Pe-131	Morado	88.6 ± 7.53	ghijklmnopq
Pe-067	Yana Lontus	88.4 ± 7.73	ghijklmnopq
Pe-052	399079.4	88.2 ± 5.89	ghijklmnopq
Pe-093	Puka p'alta	85.4 ± 5.85	hijklmnopqr
Pe-004	Pumapa maquin	85 ± 7.51	hijklmnopqr
Pe-037	Duraznillo	85 ± 4.06	hijklmnopqr
Pe-142	Casa Blanca	83.6 ± 2.96	ijklmnopqr
Pe-148	Ch'ikiña Blanca	81.2 ± 2.16	jklmnopqrs
Pe-206	Calito	77.6 ± 10.45	klmnopqrs
Pe-084	Patallaqta	77.6 ± 7.95	klmnopqrs
Pe-083	Huagalina	76.4 ± 4.15	lmnopqrst

«continuación»

Pe-112	Muro Waman uma	75.5 ± 6.45	lmnopqrstu
Pe-025	Galindo gaspar	75.2 ± 6.05	lmnopqrstu
Pe-010	Huaña	74.6 ± 4.21	mnpqrstu
Pe-048	395112.19	74.4 ± 4.39	nopqrstu
Pe-117	Pura	74.2 ± 7.59	nopqrstu
Pe-208	Yana huayro	74 ± 10.83	nopqrstu
Pe-124	Colorada centro amarillo	73.4 ± 7.36	opqrstu
Pe-215	Muru Olomes	72.8 ± 8.55	opqrstu
Pe-157	Parqo Morado	71.8 ± 7.52	pqrstu
Pe-019	Callina shiri	71.8 ± 8.34	pqrstu
Pe-042	Poqya	71 ± 13	pqrstu
Pe-205	Huayta chuco	70.2 ± 9.23	qrstu
Pe-016	China shiri	67.6 ± 10.64	rstu
Pe-103	Queta	67 ± 4.06	rstu
Pe-102	Chiquibonita	63.4 ± 6.65	stu
Pe-166	Pe-166	62.4 ± 6.69	stu
Pe-045	302951.31	56.8 ± 4.02	tu
Pe-191	Pumapa maquin negro	56.6 ± 5.94	u
Pe-092	Puka lomo	54.8 ± 5.89	u

**Anexo 3: Contenido de clorofila en campo, desviación estándar y agrupación de promedios con prueba de Tukey**

Código	Nombre Común	Cantidad de clorofila en campo	
		Promedio $\pm$ Des. Est.	Tukey
Pe-006	Ccanchillo	59.88 $\pm$ 3.42	a
Pe-154	Piña Blanca	59.08 $\pm$ 7.84	ab
Pe-208	Yana huayro	55.9 $\pm$ 6.5	abc
Pe-084	Patallaqta	55.86 $\pm$ 3.05	abc
Pe-122	Pe-122	54.7 $\pm$ 11.94	abc
Pe-103	Queta	54.52 $\pm$ 4.79	abc
Pe-203	Sumacc soncco	54.22 $\pm$ 1.52	abc
Pe-102	Chiquibonita	53.98 $\pm$ 6.53	abc
Pe-124	Colorada centro amarillo	53.6 $\pm$ 12.26	abc
Pe-147	Lomo Jaspeado	53.4 $\pm$ 4.73	abc
Pe-083	Muro Waman uma	53.22 $\pm$ 5.34	abc
Pe-205	Huayta chuco	53.1 $\pm$ 1.28	abc
Pe-125	Liberteña	52.86 $\pm$ 12.49	abc
Pe-178	Pe-178	52.74 $\pm$ 6.53	abc
Pe-019	Callina shiri	52.62 $\pm$ 2.76	abc
Pe-215	Muru Olomes	52.58 $\pm$ 12.50	abc
Pe-048	395112.19	52.14 $\pm$ 5.93	abc
Pe-093	Puka p'alta	52.1 $\pm$ 8.10	abc
Pe-189	Palta murunqui	51.72 $\pm$ 7.66	abc
Pe-004	Pumapa maquin	51.62 $\pm$ 6.04	abc
Pe-146	Khuchi Q'allu	51.02 $\pm$ 2.45	abc
Pe-152	Pepino	51.02 $\pm$ 5.17	abc
Pe-117	Pura	50.84 $\pm$ 2.03	abc
Pe-100	Santa María	50.42 $\pm$ 4.71	abc
Pe-148	Ch'ikiña Blanca	50.38 $\pm$ 6.64	abc
Pe-142	Casa Blanca	50.34 $\pm$ 9.07	abc
Pe-188	Muru Huayro	50.22 $\pm$ 13.31	abc
Pe-044	302231.12	49.16 $\pm$ 5.97	abc
Pe-157	Parqo Morado	48.66 $\pm$ 3.60	abc
Pe-129	Waka Laqra	47.62 $\pm$ 2.23	abc
Pe-042	Poqya	47.48 $\pm$ 3.82	abc
Pe-070	Yuraq K'usi	47.48 $\pm$ 8.09	abc
Pe-037	Duraznillo	47.06 $\pm$ 2.66	abc
Pe-168	Juan Domingo	46.86 $\pm$ 9.82	abc
Pe-012	Suytu camotillo	46.86 $\pm$ 9.01	abc
Pe-047	396034.18	46.7 $\pm$ 3.13	abc
Pe-002	Puka camotillo	46.36 $\pm$ 4.53	abc
Pe-067	Yana Lontus	46.16 $\pm$ 5.80	abc
Pe-143	Tantalla Turqueza	45.6 $\pm$ 3.89	abc
Pe-016	China shiri	45.3 $\pm$ 9.15	abc
Pe-052	399079.4	45.06 $\pm$ 7.71	abc

«continuación»

---

Pe-105	Frageada alianza	44.82 ± 8.35	abc
Pe-010	Huaña	44.58 ± 8.09	abc
Pe-206	Calito	44.48 ± 4.66	abc
Pe-191	Pumapa maquin negro	44.3 ± 8.70	abc
Pe-204	Yana lengua de vaca	44.3 ± 7.49	abc
Pe-131	Morado	44.28 ± 3.69	abc
Pe-190	Mauna	44.18 ± 2.91	abc
Pe-166	Pe-166	44.02 ± 2.78	abc
Pe-045	302951.31	43.16 ± 1.96	abc
Pe-185	Loka	43.06 ± 5.27	abc
Pe-113	Limeña centro rojo	42.7 ± 5.96	abc
Pe-201	Perdiza runtun	42.68 ± 8.79	abc
Pe-184	Piñaza	42.4 ± 7.07	abc
Pe-051	399058.12	42.04 ± 2.66	abc
Pe-112	Huagalina	41.18 ± 3.21	abc
Pe-092	Puka lomo	41.04 ± 1.77	abc
Pe-025	Galindo gaspar	40.4 ± 6.21	abc
Pe-209	Ishcupuro	40.18 ± 4.88	bc
Pe-120	Negra centro amarillo	36.56 ± 3.48	c

---

**Anexo 4: Contenido de clorofila en vivero, desviación estándar y agrupación de promedios con prueba de Tukey**

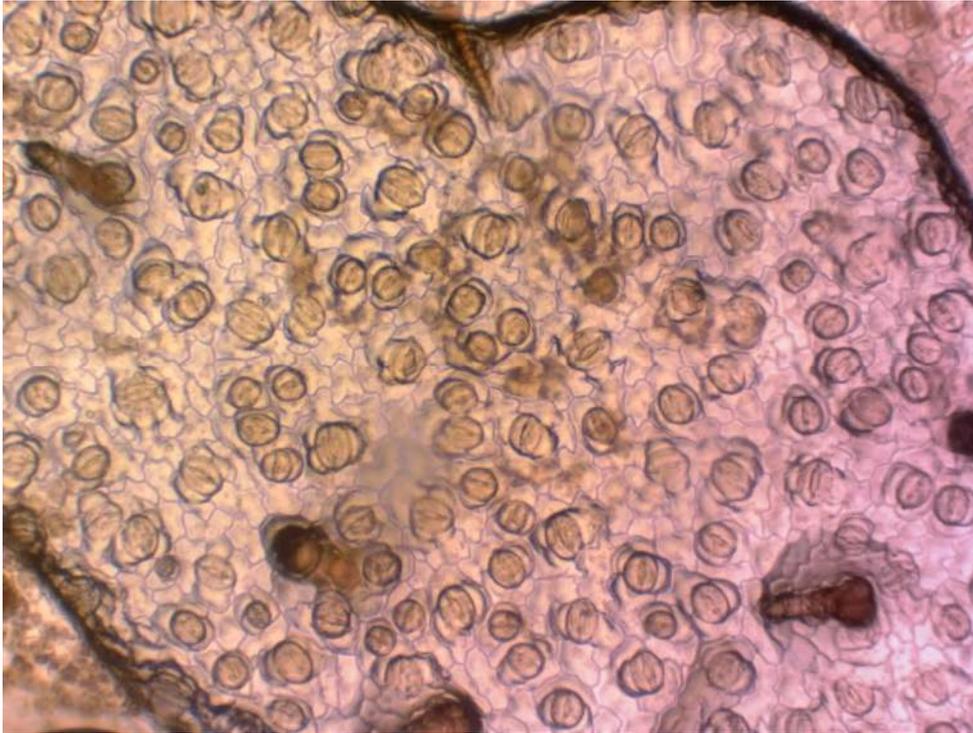
Código	Nombre común	Cantidad de clorofila en vivero	
		Promedio $\pm$ Des. Est.	Tukey
Pe-122	Pe-122	65.36 $\pm$ 3.31	a
Pe-203	Sumacc soncco	59.68 $\pm$ 1.57	ab
Pe-125	Liberteña	59.5 $\pm$ 6.05	ab
Pe-019	Callina shiri	59.16 $\pm$ 2.18	ab
Pe-147	Lomo Jaspeado	57.34 $\pm$ 7.36	ab
Pe-100	Santa María	57.1 $\pm$ 1.27	ab
Pe-048	395112.19	56.5 $\pm$ 4.97	ab
Pe-102	Chiquibonita	56.02 $\pm$ 1.74	ab
Pe-117	Pura	56.02 $\pm$ 1.96	ab
Pe-006	6 Ccanchillo	55.4 $\pm$ 3.78	ab
Pe-112	Huagalina	55.34 $\pm$ 3.00	ab
Pe-124	Colorada centro amarillo	55.3 $\pm$ 3.35	ab
Pe-205	Huayta chuco	55.24 $\pm$ 2.69	ab
Pe-010	Huaña	54.54 $\pm$ 3.43	ab
Pe-105	Frageada alianza	54.42 $\pm$ 3.51	ab
Pe-154	Piña Blanca	54.18 $\pm$ 3.07	ab
Pe-178	Pe-178	53.78 $\pm$ 4.00	ab
Pe-208	Yana huayro	53.68 $\pm$ 1.60	ab
Pe-025	Galindo gaspar	53.5 $\pm$ 6.31	ab
Pe-143	Tantalla Turqueza	53.2 $\pm$ 4.08	ab
Pe-070	Yuraq K'usi	53.14 $\pm$ 3.71	ab
Pe-157	Parqo Morado	52.82 $\pm$ 3.62	ab
Pe-004	Pumapa maquin	52.54 $\pm$ 2.93	ab
Pe-168	Juan Domingo	52.34 $\pm$ 2.32	ab
Pe-191	Pumapa maquin negro	52.16 $\pm$ 6.37	ab
Pe-093	Puka p'alta	51.82 $\pm$ 2.53	ab
Pe-185	Loka	50.96 $\pm$ 4.62	ab
Pe-190	Mauna	50.86 $\pm$ 2.27	ab
Pe-052	399079.4	50.68 $\pm$ 4.70	ab
Pe-113	Limeña centro rojo	50.64 $\pm$ 2.45	ab
Pe-045	302951.31	50.56 $\pm$ 3.18	ab
Pe-042	Poqya	50.14 $\pm$ 4.60	ab
Pe-084	Patallaqta	49.88 $\pm$ 3.48	ab
Pe-184	Piñaza	49.86 $\pm$ 2.47	ab
Pe-166	Pe-166	49.86 $\pm$ 11.53	ab
Pe-044	302231.12	49.66 $\pm$ 1.64	ab
Pe-012	Suytu camotillo	49.56 $\pm$ 5.43	ab
Pe-201	Perdiza runtun	49.48 $\pm$ 3.13	ab
Pe-047	396034.18	49.16 $\pm$ 1.59	ab
Pe-016	China shiri	48.76 $\pm$ 4.42	ab
Pe-037	Duraznillo	48.62 $\pm$ 2.50	ab

«continuación»

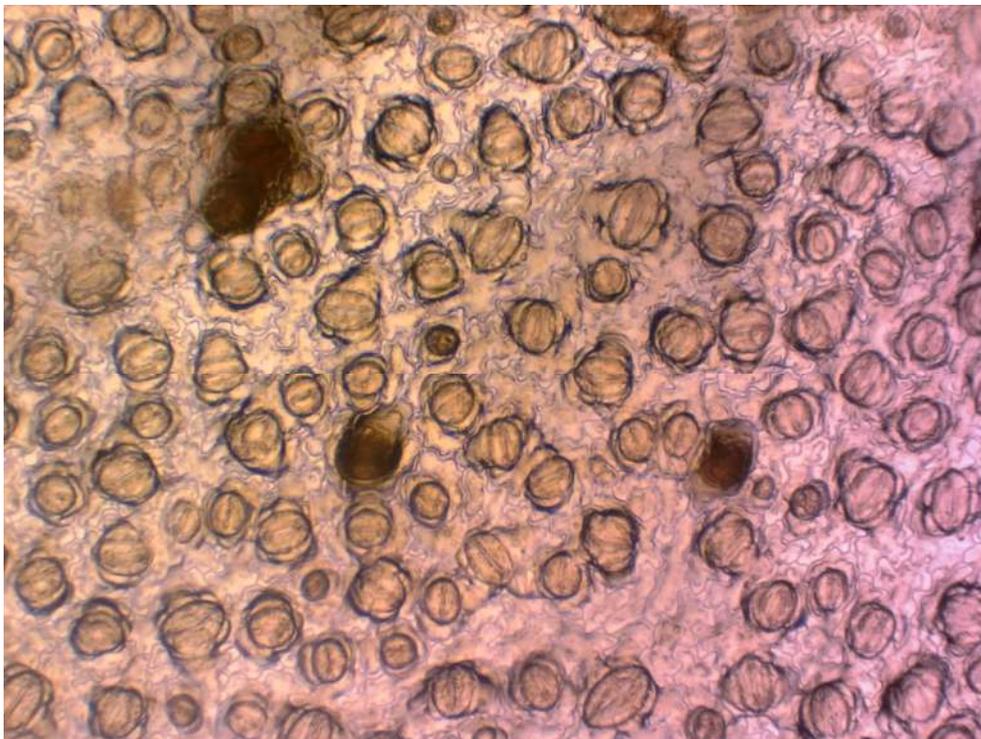
Pe-148	Ch'ikiña Blanca	48.22 ± 2.71	ab
Pe-146	Khuchi Q'allu	48.14 ± 3.35	ab
Pe-002	Puka camotillo	48.1 ± 1.82	ab
Pe-092	Puka lomo	48.02 ± 2.57	ab
Pe-152	Pepino	47.96 ± 6.73	ab
Pe-083	Muro Waman uma	47.48 ± 2.15	ab
Pe-206	Calito	47.12 ± 1.98	ab
Pe-188	Muru Huayro	47.1 ± 1.93	ab
Pe-131	Morado	46.08 ± 3.64	ab
Pe-204	Yana lengua de vaca	45.98 ± 3.73	ab
Pe-215	Muru Olomes	45.24 ± 3.53	b
Pe-189	Palta murunqui	44.9 ± 2.16	b
Pe-067	Yana Lontus	44.8 ± 1.99	b
Pe-142	Casa Blanca	43.34 ± 2.38	b
Pe-120	Negra centro amarillo	43.06 ± 2.63	b
Pe-129	Waka Laqra	42.94 ± 6.03	b
Pe-103	Queta	42.78 ± 0.90	b
Pe-051	399058.12	42.62 ± 2.31	b
Pe-209	Ishcupuro	42 ± 2.55	b

**Anexo 5: Fotografías de accesiones con mayor cantidad de estomas (x100)**

*Suytu Camotillo (Tolerante)*



*Palta Murunqui (Tolerancia media)*

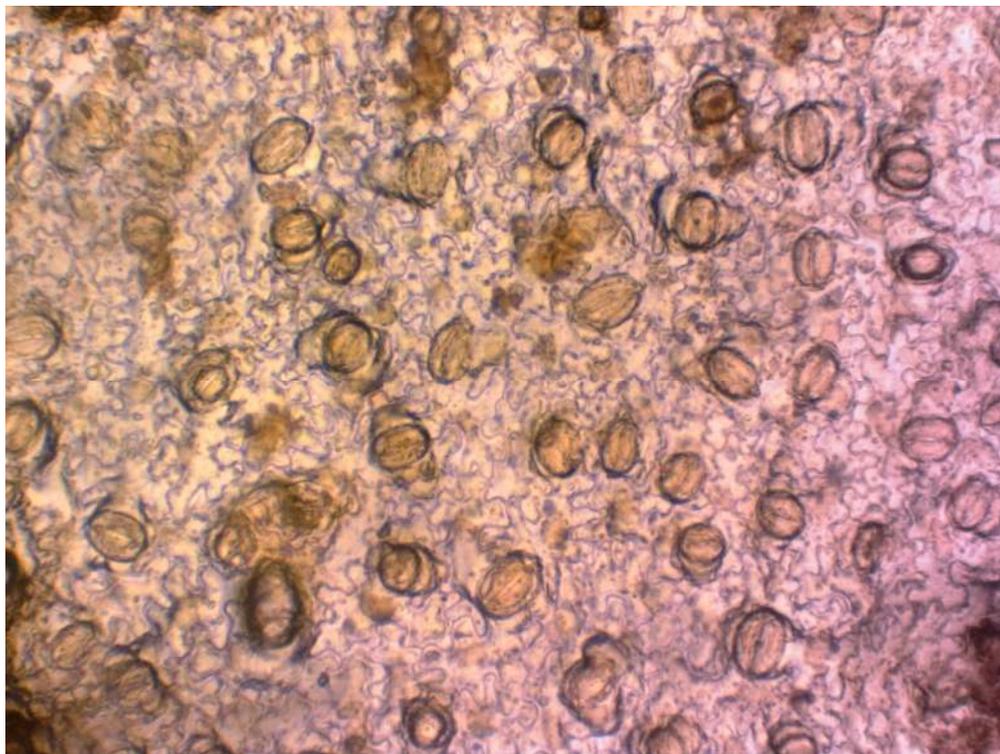


**Anexo 6: Fotografías de accesiones con menor cantidad de estomas (x100)**

*Puka Lomo (Susceptible)*



*Pumapa Maquin Negro (Tolerante)*



**Anexo 7: Fotografías de los niveles de daño observados**



**Anexo 8: Algunas accesiones luego de una semana de someterse a -4°C considerados tolerantes**

*Callina Shiri (1-2-1)*



*302231.12 (3-1-1)*



**Anexo 9: Algunas accesiones luego de una semana de someterse a -4°C considerados con tolerancia media.**

*Ishcupuro (2-3-2)*



*396034.18 (3-3-3)*



**Anexo 10: Algunas accesiones luego de una semana de someterse a -4°C consideradas susceptibles**

*Casa Blanca (5-4-3)*



*Duraznillo (3-5-4)*



Anexo 11: Accesoión tolerante a -8°C (Huaña), una semana después del sometimiento



**Anexo 12: Efecto general del daño ocasionado por la exposición a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$**



*Suytu Camotillo (Nivel 3)*



*Patallaqta (5-5-5)*

