

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“INDICADORES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS  
DE LA REACCIÓN A BAJAS TEMPERATURAS EN  
PLANTAS DE PAPAS NATIVAS (*Solanum spp.*)”**

Presentada por:

**CRISTINA QUINTANA PALACIOS**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“INDICADORES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS  
DE LA REACCIÓN A BAJAS TEMPERATURAS EN  
PLANTAS DE PAPAS NATIVAS (*Solanum spp.*)”**

**Presentada por:**

**CRISTINA QUINTANA PALACIOS**

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

**Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:**

---

**Dr. Guillermo Aguirre Yato  
PRESIDENTE**

---

**Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsqiza Bayona  
ASESOR**

---

**Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto  
MIEMBRO**

---

**Dr. Raúl Blas Sevillano  
MIEMBRO**

Lima-Perú  
2018

## **DEDICATORIA**

A Dios por bendecirme con la oportunidad de estudiar.

A mis padres, Angélica y Alberto, por su constante apoyo, aliento y dedicación hacia mí.

A mis abuelos, Elsa y Enrique, por todo su amor y guía.

A mis mejores amigos, Fátima, Catherine y George por acompañarme todo el camino y alentarme a seguir.

A mi hermana, Patty, por su cariño y ayuda.

A ti, por acompañarme y apoyarme desde que te conocí, por ser parte de este nuevo triunfo personal.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Ing. Agripina Roldán, por su constante asesoramiento, apoyo y guía durante la conducción de la investigación.

Al Ing. Rolando Egúsquiza por el patrocinio de la investigación.

Al Dr. Jorge Jiménez, por su apoyo durante la conducción de la investigación.

Al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), a través del Proyecto 108\_PI, por la oportunidad y financiamiento de la investigación.

Al personal del Registro Nacional de Papas Nativas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), por el apoyo en la ejecución de la investigación.

Al Laboratorio de Biotecnología del PIPS en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por las facilidades brindadas para los análisis citológicos.

# INDICE GENERAL

## RESUMEN

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 PAPA.....	3
2.1.1 Papas Nativas .....	4
2.2 CAMBIO CLIMÁTICO Y CULTIVO DE PAPA NATIVA.....	5
2.3 HELADAS .....	6
2.3.1 Clasificación de las heladas por su origen.....	6
2.3.2 Clasificación de las heladas por la época en que ocurren .....	8
2.3.3 Clasificación de las heladas por su aspecto visual .....	9
2.3.4 Clasificación de la severidad de las heladas.....	9
2.3.5 Análisis de heladas en regiones del Perú.....	10
2.3.6 Efectos de las heladas sobre los cultivos.....	12
2.3.7 Efectos de las heladas en el cultivo de papa.....	13
2.3.8 Especies de papas nativas y mecanismos de tolerancia a heladas .....	14
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	15
3.1 MATERIAL VEGETAL.....	15
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	15
3.2.1 Invernadero.....	15
3.2.2 Laboratorio .....	15
3.2.3 Gabinete .....	16
3.3 LOCALIDAD EXPERIMENTAL .....	16
3.4 MÉTODO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO .....	17
3.5 TRATAMIENTOS.....	18
3.6 INSTALACIÓN .....	18
3.6.1 Preparación de sustrato y llenado de macetas .....	18
3.6.2 Siembra .....	18
3.7 MANEJO AGRONÓMICO .....	18
3.7.1 Riego .....	18
3.7.2 Fertilización.....	19
3.7.3 Aporque.....	19
3.7.4 Control de plagas.....	19

3.8	VARIABLES EN ESTUDIO .....	19
3.8.1	Nivel de daño .....	19
3.8.2	Contenido de clorofila.....	20
3.8.3	Contenido relativo de agua en las hojas (CRA) .....	20
3.8.4	Color de tallo.....	20
3.8.5	Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar .....	20
3.8.6	Número de estomas por área .....	21
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>22</b>
4.1	GRADO DE DAÑO POR BAJA TEMPERATURA.....	22
4.2	CONTENIDO DE CLOROFILA.....	26
4.3	CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN LAS HOJAS (CRA).....	29
4.4	COLOR DE TALLO .....	33
4.5	GROSOR DE LA CAPA EMPALIZADA DEL PARÉNQUIMA FOLIAR.....	35
4.6	NÚMERO DE ESTOMAS POR ÁREA .....	39
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación citológica y taxonómica de la papa	3
Cuadro 2: Severidad de heladas meteorológicas	10
Cuadro 3: Temperaturas para evaluar la respuesta de 30 accesiones de papa ( <i>Solanum spp.</i> ) bajo condiciones controladas	17
Cuadro 4: Nivel de daño	19
Cuadro 5: Grados de daño por bajas temperaturas en las accesiones estudiadas	23
Cuadro 6: Contenido de clorofila en hojas de papas nativas, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo $-4^{\circ}\text{C}$	27
Cuadro 7: Análisis de Varianza para el Contenido de Clorofila	28
Cuadro 8: Coeficientes de correlación entre los contenidos de clorofila y el grado de daño por bajas temperaturas	29
Cuadro 9: Contenido relativo de agua en hojas, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo $-4^{\circ}\text{C}$	30
Cuadro 10: Análisis de Varianza para el Contenido relativo de agua en las hojas	31
Cuadro 11: Coeficientes de correlación entre los contenidos relativos de agua en las hojas y el grado de daño por bajas temperaturas	32
Cuadro 12: Color de tallo y grado de daño bajo temperaturas de $0^{\circ}\text{C}$ , $4^{\circ}\text{C}$ y $-4^{\circ}\text{C}$ en las accesiones de papas nativas	34

Cuadro 13: Análisis de Varianza para el Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar	35
Cuadro 14: Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo - 4°C	36
Cuadro 15: Coeficientes de correlación entre el grosor de la capa empalizada del parénquima foliar y el grado de daño por bajas temperaturas	38
Cuadro 16: Análisis de Varianza para el Número de estomas por área	39
Cuadro 17: Promedio del número de estomas, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo - 4 °C	40
Cuadro 18: Coeficientes de correlación entre el número de estomas por área y el grado de daño por bajas temperaturas	41

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Grados de daño en el follaje de las accesiones sometidas a tres temperaturas bajas.	24
<b>Gráfico 2:</b> Color de tallo de las accesiones en estudio.	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Treinta accesiones provenientes de las regiones Apurímac, Cusco y Puno.	50
<b>Anexo 2.</b> Estado fenológico de las treinta accesiones provenientes de las regiones Cusco, Puno y Apurímac antes de ser sometidas a 4°C, 0°C y -4°C.	51
<b>Anexo 3.</b> Fotografías de las treinta accesiones provenientes de Cusco, Puno y Apurímac.	52

## RESUMEN

En las zonas agroecológicas de la sierra peruana, se presentan actualmente eventos climáticos que ponen en riesgo la producción agrícola. Las heladas, las sequías y las granizadas son algunas de las principales anomalías que se han manifestado de manera recurrente durante los últimos años. Existen técnicas agronómicas para reducir los efectos del estrés causado por las bajas temperaturas (heladas); sin embargo, estas técnicas no son suficientes para disminuir el riesgo de pérdida en el cultivo, siendo necesario identificar variedades tolerantes a estas condiciones adversas del clima.

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de identificar accesiones de papas nativas con tolerancia a bajas temperaturas (heladas) en condiciones simuladas en La Molina. Se trabajó con treinta accesiones provenientes de las regiones Cusco, Puno y Apurímac; las plantas fueron sometidas a 4°C, 0°C y a -4°C durante un lapso de 2.5 horas. Antes de ser sometidas a bajas temperaturas, se registró el estado fenológico y se caracterizó el color del tallo, grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, número de estomas por área, contenido hídrico y contenido de clorofila.

Todas las accesiones en estudio mostraron tolerancia a temperaturas de 0°C y 4°C y cuatro de ellas a -4 °C. Las accesiones con mayor tolerancia a bajas temperaturas presentaron la capa empalizada del parénquima foliar más gruesa, menor número de estomas por área, menor contenido hídrico, pigmentos antociánicos en el tallo y menor contenido de clorofila.

**Palabras clave:** papas nativas, reacción a temperatura baja, estomas, clorofila, contenido hídrico, antocianinas.

## ABSTRACT

In the agro-ecological areas of the Peruvian Andean plateau (Puna), climatic events are present that put agricultural production at risk. Frosts, droughts and hailstorms are some of the main anomalies that have recurrently manifested in recent years. There are agronomic techniques to reduce the effects of stress caused by low temperatures (frost); however, these techniques are not enough to reduce the risk of crop loss, and it is necessary to identify varieties that are tolerant of these adverse weather conditions.

The present investigation was developed with the objective of identifying accessions of native potatoes with tolerance to low temperatures (frosts) in simulated conditions in La Molina. We worked with thirty accessions from the Cusco, Puno and Apurímac regions; the plants were subjected to 4 ° C, 0 ° C and -4 ° C for a period of 2.5 hours. Before being subjected to low temperatures, the phenological stage was recorded and the color of the stem, thickness of the palisade layer of the leaf parenchyma, number of stomas per area, water content and chlorophyll content were characterized.

All the accessions under study showed tolerance at temperatures of 0 ° C and 4 ° C and four of them at -4 ° C. The accessions with greater tolerance to low temperatures presented the palisade layer of the thicker leaf parenchyma, lower number of stomata per area, lower water content, anthocyanin pigments in the stem and lower chlorophyll content.

**Key words:** native potatoes, reaction at low temperature, stomata, chlorophyll, water content, anthocyanins.

## I. INTRODUCCIÓN

La palabra papa es de origen quechua y hace referencia al cultivo, la planta y el tubérculo (Ballón Aguirre y Cerrón-Palomino, 2002). Desde América, la papa se ha extendido por todo el mundo y se ha convertido en un alimento básico en muchos países (Graves, 2000).

El origen de las papas nativas cultivadas se remonta a las primeras variedades nativas diploides, probablemente perteneciente al grupo *Stenotomum*, desarrolladas por los agricultores precolombinos a partir de especies que crecían en estado silvestre. La evidencia sitúa los primeros indicios del cultivo de papa al norte del Lago Titicaca, hace unos 8,000 años (Spooner *et al.*, 2005). Tapia y De La Torre (1992), sugieren que la papa fue domesticada por la mujer mientras el hombre se dedicaba a la caza y a la pesca. También hoy en día son las mujeres quienes cumplen un rol muy importante en la selección de semilla.

En el año 2016 en el Perú se sembró 319 mil hectáreas de papa de las cuales 70 mil correspondieron a papas nativas, sembrados en 19 regiones, siendo las principales en la zona norte; Cajamarca, en la sierra central: Huánuco, Pasco, Junín, Huancavelica, Ayacucho y en la sierra sur: Apurímac, Cusco y Puno (León, 2016). Además el INEI (2014) indicó que en el Perú se encuentra la mayor variabilidad de papa cultivada y 91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre en casi toda América; la misma fuente indica que en el año 2012, del total de la superficie sembrada en el país, el 58,7 por ciento fueron variedades de papa blanca; en tanto que, el 21,9 por ciento fueron papas nativas; indica además que la papa amarilla ocupó el 13,0 por ciento de la superficie cultivada, huayro el 4,0 por ciento y la papa amarga (2,5 por ciento).

Las papas nativas (*Solanum spp.*) son importantes debido a que son la base para la economía y alimentación campesina de los andes peruanos. En los pisos altitudinales mayores a 3300 msnm la presencia de un gran número de cultivares de papa nativa hacen del Perú un área geográfica de gran variabilidad de formas cultivadas de este tubérculo. Constituyen un rico reservorio de genes para los programas de fitomejoramiento debido a que se manifiestan en un gran número de formas, colores, sabores y otras características agronómicas, así como de procesamiento; debido a ello, en los últimos años ha crecido el interés de los mercados

específicos por variedades de papas nativas, lo cual ha permitido que se las pueda explotar industrialmente (Huarte y Okada, 2003).

Desde el punto de vista agrícola, un cambio climático progresivo (de origen antrópico) y una alteración súbita del clima (Fenómeno El Niño, por ejemplo) tienen efectos muy diferentes. Frente a lo primero, existe una experiencia global con cultivos adaptados a los ambientes más variados, desde la agricultura en zonas calurosas y de escasa disponibilidad de agua hasta los trópicos lluviosos, pasando por zonas transitorias hasta la agricultura de montaña donde el problema son las heladas.

La existencia de variedades de papas nativas (*Solanum* sp.) en los sectores marginales de la sierra peruana y los riesgos en la producción debido al cambio climático, son razones principales que conllevan a la necesidad de identificar variedades de papas nativas que presenten caracteres y/o mecanismos de tolerancia a las heladas (Ruiz, 2014).

El cambio climático está definido por el incremento de la temperatura promedio del planeta como consecuencia de la emisión desmedida de GEI (gases de efecto invernadero) por el hombre, principalmente como producto de la industrialización de los países más desarrollados del planeta (CONAM, 2006).

Las heladas, según el enfoque agrometeorológico, son definidas como un descenso de la temperatura ambiental a niveles críticos de los cultivos y que mata los tejidos vegetales (Campos, 2005).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo general identificar accesiones de papas nativas tolerantes a heladas, bajo condiciones semicontroladas, y como objetivos específicos evaluar caracteres relacionados a la tolerancia, como son el color de tallo, grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, número de estomas por área, porcentaje de severidad del daño por heladas, contenido hídrico y contenido de clorofila en 30 accesiones de papas nativas provenientes de las regiones Cusco, Puno y Apurímac.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 PAPA

La papa se cultiva en los Andes desde hace más de 7.000 años. Según investigaciones confirmadas recientemente, el origen de la papa, especie *Solanum tuberosum*, se centra en la parte norte del lago Titicaca, sur del Perú (Spooner et al., 2005). Actualmente, la papa es el cuarto cultivo de mayor importancia en el mundo después del arroz, trigo y maíz; se cultiva en más de 130 países. En el Perú, en el año 2014 se tuvo un área cosechada de 318,380 hectáreas con una producción de 4,704,987 toneladas, según FAO (2014).

Taxonómicamente, la papa está dividida en siete especies de acuerdo con la clasificación de Hawkes (1990), en nueve según Ochoa (1999) y en una sola según Huamán y Spooner (2002). Citológicamente se identifican cuatro grupos distintos: diploide ( $2n=24$ ), al que pertenecen los grupos ajanhuiri, stenotomum y phureja; triploide ( $2n=36$ ), con los grupos chaucha y juzepczukii; tetraploide ( $2n=48$ ), donde se ubican los grupos andigena y chilotanum y pentaploide ( $2n=60$ ), que contiene al grupo curtilobum (ver Cuadro 1).

**Cuadro 1: Clasificación citológica y taxonómica de la papa**

PLOIDÍA	Especies
2x	<i>Solanum x ajanhuiri</i> <i>Solanum goniocalyx</i> <i>Solanum stenotomum</i> <i>Solanum phureja</i>
3x	<i>Solanum x chaucha</i> <i>Solanum x juzepczukii</i>
4x	<i>Solanum tuberosum ssp. andigena</i> <i>Solanum tuberosum ssp. tuberosum</i> <i>Solanum hygrothermicum</i>
5x	<i>Solanum x curtilobum</i>

Fuente: Ochoa, 1999

En las familias asentadas en los Andes, la papa es un componente importante de su seguridad alimentaria y de la dieta, es la base de sus sistemas de cultivo y fuente de ingresos económicos. En las zonas andinas del Perú (3,800 – 4,100 msnm), el cultivo de la papa ocupa alrededor del 80% de la superficie agrícola, destacándose por su rica biodiversidad en un marco de agricultura familiar a pequeña escala y una cultura tradicional. Esta diversidad se expresa en los sabores, colores y formas, así como también en las propiedades nutricionales e incluso por su aporte a la salud (Fonseca *et.al.* ,2014).

En el Perú, la papa tiene una importancia trascendental en el aspecto social y económico, 730,000 familias dependen de su cultivo; tiene presencia en 19 de las 24 regiones, con una mayor concentración en aquellas ubicadas en la sierra (Fonseca *et.al.* ,2014).

### **2.1.1 Papas Nativas**

Salas, *et al.*, (2001) mencionan que, en el Perú, la gran diversidad de papas nativas se mantiene principalmente de los campesinos más pobres de la zona alto andinas entre los 3500 a 4500 msnm, y se utiliza mayormente para autoconsumo e intercambio (trueque) entre comunidades cercanas. Sin embargo, los cambios sociales, presiones económicas y otros factores como los climáticos, amenazan la continuidad de la conservación de esa diversidad por productores tradicionales.

En los andes peruanos la diversidad genética de la papa es cultivada en dos sistemas; unas pocas variedades nativas (más o menos de cinco a ocho) las cuales son cultivadas con fines comerciales como es el caso de las conocidas “amarilla tumbay”, “huayro”, “camotillo”, “huamantanga”, “Peruanita”. El otro grupo más numeroso y diverso es sembrado por los campesinos en forma de mezclas, esta forma de siembra es denominada “chagro”, en la que cada familia siembra entre 10 y 100 cultivares, esta forma de producción se realiza con el fin de asegurar la producción y contrarrestar factores adversos como sequías prolongadas, heladas, enfermedades en general (estrés abiótico o biótico), asegurando así su cosecha (Durand, 2012).

Zumba, (2008) reporta que, en la cosmovisión campesina andina, las papas nativas tienen importancia especial, pues se las emplea como alimento y como sustento económico.

Monteros et al. (2006) mencionan que, a pesar de ello, las papas nativas que han sido sembradas generación tras generación están en peligro de desaparecer, debido al cambio climático.

## 2.2 CAMBIO CLIMÁTICO Y CULTIVO DE PAPA NATIVA

En las zonas agroecológicas de puna, además del incremento que viene experimentando la temperatura, se presentan actualmente otros eventos climáticos que ponen en riesgo la producción agrícola. Las heladas, las sequías y las granizadas son algunas de las principales anomalías que se han manifestado de manera recurrente durante los últimos años (Carazas, 2007).

Las heladas representan uno de los principales riesgos climáticos para la agricultura en los Andes: provocan, por ejemplo, serios daños en la cobertura foliar de la planta al congelar el agua presente en la vacuola de sus células, y romperlas por dilatación, al momento del deshielo. Por consiguiente, los rendimientos se reducen al igual que el ciclo vegetativo de la planta. Este fenómeno puede presentarse desde los 2 500 msnm, pero el mayor riesgo está por encima de los 3 500 msnm (Frere et al., 1975).

Algunas estimaciones sobre los efectos del cambio climático a nivel mundial en el cultivo de la papa durante los próximos 50 años proyectan que la reducción del rendimiento puede oscilar entre 18 % y 32 % si las variedades no tienen una adaptación adecuada. Pero estas pérdidas pueden ser menores, hasta en un 9 % entre las variedades adaptadas (Hijmans, 2002).

Huanco (1992) hace mención que, son pocas las especies de plantas que pueden soportar las bajas temperaturas a las que se expone la papa. Se cree que su buena tolerancia al frío se relaciona con la formación del doble parénquima empalizado y con la producción de hormonas como el ácido absícico (ABA). *Solanum ajanhuiri* y *Solanum curtilobum* sufren un nivel mínimo de daño en temperaturas que van de los -3 a los -5°C, en tanto que *Solanum juzepczukii* puede soportar temperaturas de hasta -5 °C. Un tercio del área de papa sembrada en el altiplano peruano es amarga y, de esta el 60 % corresponde a la especie *Solanum juzepczukii*, mientras que un 33 % corresponde a *Solanum x curtilobum*.

## **2.3 HELADAS**

Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiente desciende a 0°C o menos. En cambio, un enfoque agrometeorológico define a la helada como un descenso de la temperatura ambiente a niveles críticos de los cultivos y que mata los tejidos vegetales. Esta definición implica dos condiciones, las meteorológicas y las biológicas como tolerancia propia del cultivo o variedad, etapa de desarrollo, condiciones fisiológicas y sanitarias (Campos, 2005), condiciones de suelo, duración de la helada (Lasso, 1987).

Las heladas que pueden afectar el cultivo de la papa son de dos tipos: de origen estático y de origen dinámico (Gutiérrez, 2008).

### **2.3.1 Clasificación de las heladas por su origen**

Según Pereyra *et al.* (1990), Elías y Catellvi (2001), Campos (2005), Matías *et al.* (2007), las heladas se pueden clasificar desde los puntos de vista de origen en heladas por advección, por radiación y por evaporación.

- **Helada por advección**

Se denomina advección al transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de velocidades de la atmosfera (OMM, 1992). Las heladas de advección son originadas por la presencia de grandes masas de aire frío procedentes de regiones polares.

Su desplazamiento va creando distintas formas de tiempo atmosférico, dependiente del relieve terrestre. Las heladas de este tipo se producen en las partes bajas de las montañas, tales como encañadas, valles y son muy dañinas (Pereyra, 1990).

La helada de advección se puede presentar en cualquier hora del día, con independencia del estado del cielo. Suelen afectar a amplias zonas y por sus

características los métodos de mitigación contra este tipo de helada acostumbran a ser ineficaces (Elías y Castellvi, 2001; Snyder y Paulo de Melo-Abreu, 2005), debido a la gran intensidad de los vientos y a la naturaleza masiva del enfriamiento (Lasso, 1987). Este tipo de helada se presenta en las regiones tropicales y es característico de latitudes medias (Lasso, 1987).

- **Helada por radiación**

Se presentan en noches claras y despejadas, cuando la radiación terrestre es emitida a la atmosfera por la ausencia de nubes y por la baja concentración de vapor de agua. Se produce también en noches en calma, en ausencia de viento (Elías y Castellvi, 2001; Pereyra *et al*, 2002).

La severidad de estas heladas varía considerablemente con las condiciones generales de la atmosfera y depende de las condiciones locales, tales como topografía, vegetación, entre otros. Este tipo de heladas suelen predominar en latitudes medias, a finales de primavera y a principios de otoño y son las que producen mayores pérdidas en los cultivos, si bien pueden producirse también en el verano, en zonas tropicales y subtropicales de mayor altitud (Elías y Castellvi, 2001).

- **Helada por evaporación**

Se produce al evaporarse el agua depositada sobre las plantas, con el consiguiente enfriamiento al ser absorbido del aire el calor latente necesario para la evaporación. Si después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, lo que es frecuente después del paso de un frente frio, el agua que recubre los vegetales se evapora rápidamente. La intensidad de estas heladas depende de la cantidad de agua que se evapora, de la temperatura del aire y de la humedad relativa (Elías y Catellvi, 2001). Este tipo de heladas son poco frecuentes y los mayores daños los ocasiona a los cultivos con flores y hortalizas (Pereyra, 1999).

### 2.3.2 Clasificación de las heladas por la época en que ocurren

De acuerdo con la estación del año en que se presentan, se tienen tres clases de heladas: primaverales, otoñales y de invierno (Pereyra, 1990, Campos, 2005 y Matías, 2007).

- **Heladas primaverales**

Llamadas también heladas tardías. Este tipo de helada son los más dañinos y afectan a las plantas durante su periodo más activo (Pereyra, 1999). Pueden afectar a las plántulas o cultivos en sus brotes iniciales (Campos, 2005), así también a los cultivos de ciclo anual (como el maíz) cuando se encuentran en la etapa de brotación de ramas o con pocos días de crecimiento. Se presentan cuando en el ambiente se genera un descenso de temperatura.

- **Heladas otoñales**

También llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para los cultivos porque pueden interrumpir bruscamente el proceso de formación de botones de las flores y la maduración de frutos (Campos, 2005; Pereyra, 1999; Matías, 2007). A estas heladas se le atribuye la reducción de la producción agrícola de una región. Se forman por la llegada de las primeras masas de aire frío de origen polar sobre el continente sudamericano durante los meses de marzo y abril (Matías, 2007).

Para cultivos perennes o arbustos, las heladas de primavera u otoño son muy peligrosas porque sus efectos pueden dañar varias cosechas (Pereyra, 1999).

- **Heladas invernales**

Se forman durante el invierno si la temperatura ambiente disminuye notablemente. Estas heladas afectan principalmente a los árboles perennes con frutos y especies forestales, especialmente cuando se hace más intenso el frío.

Elas ocurren cuando las plantas se encuentran en periodo de reposo, lapso en el que las plantas disponen de mayores posibilidades de soportar bajas temperaturas (Matías, 2007).

### 2.3.3 Clasificación de las heladas por su aspecto visual

- **Helada Negra**

Ocurre en condiciones de baja concentración de vapor de agua atmosférica (baja humedad) y una pérdida radiativa intensa, que genera el enfriamiento acentuado de la vegetación hasta alcanzar la temperatura letal. La baja humedad en el aire no permite la condensación ni la formación de hielo en la superficie de la planta. Los cultivos son dañados y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia de las plantas o del agua de sus tejidos. Estas heladas causan daños más severos que las blancas (Pereyra, *et al.*, 2002; Matías, 2007, Pereyra, 1999).

- **Helada Blanca**

Después de ciertas noches calmas y despejadas, el césped y plantas bajas presentan una cubierta blanca, constituida por partículas de hielo de apariencia cristalina. A este fenómeno se le conoce como helada blanca (De Fina, 1945). Se produce cuando un intenso enfriamiento nocturno produce condensación de vapor de agua y su congelamiento sobre las plantas (Elías y Castellvi, 2001; Pereyra *et al.*, 2002; Matías, 2007).

Cuando se tiene más humedad en el aire, primero ocurre una condensación con liberación de calor latente, hecho que ayuda a reducir la disminución de la temperatura. Por lo tanto, una helada blanca es menos severa que una helada negra (Pereyra *et al.*, 2002).

### 2.3.4 Clasificación de la severidad de las heladas

En el Cuadro 2 se cita una clasificación simple de la severidad de las heladas por la temperatura mínima del aire (Da Motta, 1961).

**Cuadro 2: Severidad de heladas meteorológicas**

HELADAS	INTERVALO DE TEMPERATURAS
Muy severas	> -10°C
Severas	-8°C a -9,9°C
Muy fuertes	-6°C a -7,9°C
Fuertes	-4°C a -5,9°C
Moderadas	-2°C a -3,9°C
Suaves	0°C a -1,9°C

### 2.3.5 Análisis de heladas en regiones del Perú

La mayor frecuencia de heladas (días/mes) ocurre en la estación de invierno, incrementándose su magnitud a mayor altitud y latitud. Esta particularidad se acentúa en localidades ubicadas en la sierra sur (Campos, 2005).

- **Cusco**

Alarcón (1993), en un estudio sobre el comportamiento de heladas en el Cusco, encuentra que las fechas medias de la primera helada varían entre el 26 de junio al 17 de enero. Las primeras fechas se registran aproximadamente a los 2800 msnm, en los flancos orientales de la cordillera. Las áreas que registran las primeras heladas más tardías se encuentran en la parte sur del departamento a mayores altitudes.

En relación a la fecha media de la última helada, estas varían entre el 30 de julio y 22 de diciembre. Las áreas comprendidas en las estribaciones orientales de la cordillera presentan como fecha el 30 de julio, mientras que en las áreas al extremo sur del departamento se presentan el 16 de diciembre, y en la zona central donde se ubican los valles de importancia agrícola estas fechas varían entre el 30 de julio al 28 de setiembre.

La mayor variabilidad de las fechas de la última helada, se registra al extremo sureste del departamento y la menor variabilidad en lugares de importancia agrícola en la

zona sureste en los valles de Paruro, Acomayo y partes altas del valle de Vilcanota. La intensidad media de las últimas heladas varía entre  $-2,8^{\circ}\text{C}$  (Yauri) y  $0,0^{\circ}\text{C}$  (Yanaoca).

Desde el año 2011 al año 2013, la temperatura más baja registrada fue de  $-1,5^{\circ}\text{C}$  en el mes de Julio, seguido de  $-1^{\circ}\text{C}$  en los meses de Junio y Agosto (SENAMHI, 2018).

- **Puno**

En la región Puno, las heladas se presentan en los meses de mayo a agosto y la temperatura varía entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$ . Siendo registradas las temperaturas más bajas entre las 2.00 y 4.00 horas (PREDES, 2008).

Los alimentos más vulnerables, la ganadería y la población del ámbito rural, se localizan entre los 4000 y los 4800 m.s.n.m. (PREDES, 2008).

Desde el año 2010 al año 2012, la temperatura más baja registrada fue de  $-4^{\circ}\text{C}$  en el mes de Julio, seguido de  $-3,8^{\circ}\text{C}$  en el mes de Junio y  $-2,4$  en los meses de Agosto y Setiembre (SENAMHI, 2018).

- **Apurímac**

Según el PACC (2012) en la región Apurímac el número de días con presencia de heladas es de 0-5 días en el verano. En estos meses de verano la ocurrencia de heladas es casi nula, son sólo algunos días que se presenta en el mes de marzo.

Climatológicamente los meses de otoño, son los meses donde se presentan las heladas con mayor frecuencia. El mes de Mayo es el mes de inicio en el que se presentan las heladas en muchas estaciones meteorológicas, sobre todo en aquellas zonas donde las altitudes superan los 3000 m.s.n.m.

Así que, en el mes de abril la ocurrencia es de 0-5 días/mes y en mayo la ocurrencia que suele darse es hasta 10 días con heladas; en Junio se incrementa la frecuencia de heladas suelen presentarse durante 15 días.

En Julio, el comportamiento normal es de hasta 15 días con heladas. En agosto, suelen presentarse hasta 10 días con heladas. Generalmente en el mes de Setiembre suele disminuir (con respecto a agosto) la frecuencia de heladas meteorológicas.

En primavera (octubre, noviembre y diciembre), hay un descenso paulatino de la frecuencia de heladas; Apurímac, presenta hasta 5 días con éstas.

Desde el año 2011 al año 2013, la temperatura más baja registrada fue de 4.2°C en el mes de Julio, seguido de 4.8°C en los meses de Junio y Agosto (SENAMHI, 2018).

### **2.3.6 Efectos de las heladas sobre los cultivos**

Los órganos de la planta, o la planta completa, mueren cuando son sometidos a la acción del frío suficientemente intenso y prolongado (De Fina, 1945). La muerte del tejido vegetal por frío es un proceso físico-químico. Según Heber y Santarius (1978), citados por Pereyra (2002), el proceso se inicia cuando se alcanza la temperatura crítica de la planta, en la que ocurre congelamiento de la solución extracelular, que resulta en un desequilibrio con el potencial químico del agua de la solución intracelular. Este proceso genera pérdida de agua, provocando la deshidratación de la célula o congelamiento de la solución intracelular (Campos, 2005).

Las primeras señales resultantes de este proceso son deshidratación de la célula, pérdida del potencial de turgencia, aumento en la concentración de solutos, reducción de volumen celular y ruptura de membrana plasmática (Campos, 2005).

Estrada (2000) reporta que el agua se moviliza desde adentro hacia afuera de la célula, los solutos y componentes celulares adquieren una alta concentración y causan un estrés prolongado a las células, que causa la muerte eventual de las células por la desnaturalización

de las proteínas o de las uniones químicas y por la destrucción de las proteínas de la membrana celular.

Levitt (1980) reporta que la extensión del daño debido a la congelación intracelular depende principalmente de la rapidez del enfriamiento y la intensidad del enfriamiento antes de congelarse. Hay poca o ninguna evidencia de que la duración de la congelación afecte al daño.

Además de las pérdidas en rendimientos y del daño foliar, las heladas inducen la formación de cristales de hielo a temperaturas de congelación. Se pueden formar cristales de hielo dentro del protoplasma causando la ruptura y muerte celular, o también en los espacios extracelulares produciendo severa deshidratación celular (Palta y Li, 1980; Toivio-Kinnican *et al.*, 1981; Steponkus, 1984).

Muchos de los efectos del estrés por bajas temperaturas están relacionados con la variación en la fluidez de las membranas, temperaturas bajo 0°C disminuyen la semi-permeabilidad de la membrana debido a la desnaturalización de proteínas y alteración de la composición de lípidos de la membrana (Palta y Li, 1980).

### **2.3.7 Efectos de las heladas en el cultivo de papa**

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es significativamente afectado por heladas. La mayoría de las variedades cultivadas son sensibles a temperaturas inferiores a -2.5°C que producen daños visibles a nivel foliar y mermas tanto en los rendimientos como en la calidad de los tubérculos (Chen y Li, 1980).

Mientras que en zonas de clima templado las heladas pueden afectar el cultivo de papa en primavera e inicios del otoño, en regiones andinas de América del Sur las heladas pueden ocurrir en cualquier etapa del desarrollo del cultivo, disminuyendo así los rendimientos en diferentes intensidades.

Fairlie y Ortega (1995), mostraron que en el sur de Puno, las heladas que ocurren entre la etapa de emergencia y formación de estolones bajaron los rendimientos entre 30 y 50%, y las heladas en floración afectaron el rendimiento en 50%. Hijmans (1999), estimó que cerca del 25% del área total plantada con papa en el altiplano tiene alto riesgo de heladas (>33%). Un estudio reciente en Korea mostró que plantas de papas afectadas con daño severo por helada (>75% daño visual) alcanzaron un rendimiento de 31 t/ha, mientras que aquellas plantas que experimentaron un bajo daño (<25% daño visual) alcanzaron un rendimiento de 53 t/ha (Chang *et al.*, 2014).

### **2.3.8 Especies de papas nativas y mecanismos de tolerancia a heladas**

Estrada *et al.*, (2000) menciona que, entre las especies cultivadas tolerantes a las heladas están *Solanum ajanhuiri* (2n=2x=24), *Solanum ssp. andigenum* (2n=4x=48), *Solanum curtilobum* (2n=5x=60), *Solanum juzepczukii* (2n=3x=36) y *Solanum stenotomum* (2n=2x=24) entre las que se encuentran variedades que toleran temperaturas de -3 a -5°C.

Estrada (2000) menciona que la tolerancia a las heladas en varias especies tuberíferas se debe a factores morfológicos como menor tamaño de células estomáticas, paredes celulares gruesas, menor área de estomas, hábito arrosetado de la planta, la pigmentación del tallo, dos o más capas empalizadas en el tejido parenquimatoso de las hojas, factores físico químicos como el contenido de lípidos en las células, capacidad de transformación de almidones hacia azúcares, capacidad de formar pigmentos protectores, habilidad de soportar deshidratación celular y mantener la cohesión bajo la presión de congelación.

Palta y Li (1977) menciona que, las especies que tienen mayor número de estomas son más tolerantes que aquellas que poseen menor número de estomas.

Salisbury (2000) menciona que, el aumento de la proporción de ácidos grasos insaturados o de la cantidad de esteroides provoca que la membrana siga funcionando a temperaturas bajas.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIAL VEGETAL**

En el presente trabajo de investigación se utilizaron 30 accesiones (Anexo 1) provenientes de las regiones Cusco, Puno y Apurímac, colectadas bajo el Proyecto 108\_PI PNIA-INIA; teniendo en cuenta el conocimiento tradicional de los agricultores acerca de las variedades que toleran heladas, la altitud en las que son sembradas dichas variedades y el mayor rendimiento como criterios de elección.

#### **3.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1 Invernadero**

- Macetas de 3.5 L de capacidad
- Sustrato: Tierra agrícola esterilizada en mezcla con Plugmix # 8
- Termohigrometro
- Pesticidas
- Tutores de bambú
- Lampa.
- Regadera
- Medidor de clorofila SPAD-502
- Descriptores mínimos de papa (*Solanum sp.*) para el registro nacional de la papa nativa peruana con carta de colores para flor y tubérculo.
- Cámara fotográfica
- Libreta de apuntes
- Etiquetas de polipropileno

##### **3.2.2 Laboratorio**

- Cámara de frío
- Congeladora
- Porta y cubre objetos
- Lugol

- Alcohol 80%
- Agua destilada
- Probeta (100 ml)
- Microscopio
- Balanza analítica
- Estufa
- Hoja de afeitar

### **3.2.3 Gabinete**

- Calculadora
- Computador
- Software Dino Capture 2.0

## **3.3 LOCALIDAD EXPERIMENTAL**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el invernadero del Registro Nacional de Papas Nativas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Sede Central- La Molina.

El INIA se encuentra ubicado en la ciudad de Lima en el distrito de La Molina, a una altura aproximada de 241 m.s.n.m., latitud sur de 12°04'36" y longitud oeste de 76°56'43".

Durante la conducción del experimento se registró en el invernadero, la temperatura promedio de 21.39°C, la máxima de 36.25°C y la mínima de 13°C; la humedad relativa promedio de 71.45%, la máxima de 96.5% y la mínima de 37%.

### 3.4 MÉTODO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

Para evaluar la respuesta a bajas temperaturas de las diferentes accesiones de papa seleccionadas, se sembraron doce tubérculos semilla en macetas, las mismas que estuvieron ubicadas en el invernadero.

En un rango de 45- 47 días después de la emergencia se registró el estado fenológico (Anexos 2, 3, 4) y se caracterizó: el color de tallo, hoja, flor, grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, número de estomas por área, contenido hídrico y contenido de clorofila; luego se ubicaron dentro de la cámara fría en un periodo de 2.5 horas, por grupos de 30 macetas (tres repeticiones por diez accesiones) para cada temperatura; cada grupo estuvo separado en el tiempo por una hora.

Luego de ser sometidas a las temperaturas indicadas en el Cuadro 3, las plantas fueron llevadas nuevamente al invernadero, para posteriormente realizar las evaluaciones respectivas al daño causado por el estrés teniendo como contraste las plantas que estuvieron bajo condiciones de temperatura ambiente (Estrada, 2000).

**Cuadro 3: Temperaturas para evaluar la respuesta de 30 accesiones de papa (*Solanum spp.*) bajo condiciones controladas.**

Código	T°
t1	4°
t2	0°
t3	-4°
t4	Temperatura ambiente

### **3.5 TRATAMIENTOS**

Los tratamientos a evaluar resultan de las interacciones entre los factores en estudio: accesiones y temperaturas.

### **3.6 INSTALACIÓN**

#### **3.6.1 Preparación de sustrato y llenado de macetas**

Se realizó una mezcla de tierra agrícola con PLUGMIX # 8 (Anexo 5), en proporción 2:1; llenando los  $\frac{2}{3}$  de capacidad de la maceta.

Se identificaron las macetas con el número de accesión, los tratamientos y las repeticiones. El experimento se instaló bajo un diseño Completamente al Azar con tres repeticiones.

#### **3.6.2 Siembra**

La siembra de los tubérculos semilla de cada accesión se realizó en tres fechas (diez accesiones por fecha) con un periodo de once días de diferencia entre cada una, con la finalidad de tener el tiempo suficiente para las evaluaciones de las variables en estudio.

En cada maceta se colocó una etiqueta plástica con los datos de fecha de siembra, número de accesión y código, para su fácil identificación.

Finalmente se regó cada maceta con un volumen de 300ml de agua.

### **3.7 MANEJO AGRONÓMICO**

#### **3.7.1 Riego**

Se regó cada maceta con un volumen aproximado de 300ml en días nublados y con 600ml en días con mayor radiación solar; el riego se dio en un intervalo de dos días.

### 3.7.2 Fertilización

No se fertilizó, debido a que en condiciones de campo, el agricultor no abona el terreno.

### 3.7.3 Aporque

Se realizaron dos aporques con la finalidad de cubrir los estolones, darle soporte a la planta y facilitar la tuberización.

### 3.7.4 Control de plagas

Las plagas que atacaron al cultivo fueron, mosca minadora (*Liriomyza sp.*), ácaro hialino (*Polyphagotarsonemus latus*) y áfidos (*Aphis sp.*); las cuales se controlaron con la aplicación de CICLON (12.5mL/10L) y SPIDER 1.8EC (7.5mL/10L), respectivamente; con una frecuencia de 15 días.

## 3.8 VARIABLES EN ESTUDIO

### 3.8.1 Nivel de daño

A los 8 días de sometidas a estrés por bajas temperaturas, se evaluó el nivel de daño de cada planta y se calificó según la siguiente escala.

**Cuadro 4: Nivel de daño**

Grado	Daño cualitativo	Daño cuantitativo
0	Sin daños visibles	0% de necrosis foliar
1	Ligero bronceado en el foliolo superior	5-9% de necrosis foliar
2	Unos pocos foliolos superiores necrosados	10-14% de necrosis foliar
3	Muchos foliolos superiores necrosados	15-30% de necrosis foliar
4	Todas las hojas y peciolo con necrosis	31-50% de necrosis foliar
5	Todas las hojas y peciolo fuertemente necrosados	51-90% de necrosis foliar
6	Planta entera necrosada	100% de necrosis foliar

### 3.8.2 Contenido de clorofila

Se tomó una lectura mediante un equipo medidor de clorofila (SPAD 502 Plus), durante el ciclo de cultivo, 2 días antes de someter las plantas a estrés por baja temperatura. La lectura se tomó en cada planta en Unidades SPAD (Chlorophyll Content Meter, 2009).

### 3.8.3 Contenido relativo de agua en las hojas (CRA)

Se tomó un foliolo del tercio superior de cada planta, se pesó la muestra en fresco, después se hidrató en una bandeja con agua destilada y posteriormente se pesó el peso turgente, luego la muestra se colocó en una estufa por 48 horas a 65 °C hasta que llegue a un peso constante, se pesó y se obtuvo el peso seco. Se expresó en porcentaje, aplicando la siguiente fórmula:

PF = Peso Fresco

PS = Peso Seco

PT = Peso Turgente

$$\text{CRA (\%)} = \left[ \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \right] * 100$$

### 3.8.4 Color de tallo

Se caracterizó el color de tallo teniendo como guía la Cartilla de descriptores mínimos de papa (*Solanum sp.*) propuesto por el Registro Nacional de la Papa Nativa Peruana (INIA, 2016).

### 3.8.5 Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar

Se tomaron tres foliolos del tercio superior de las 30 accesiones en estudio. Estos foliolos fueron llevados al laboratorio en frascos con agua para mantenerlos turgentes. Se hicieron cortes transversales de los foliolos con ayuda de una hoja de afeitar hasta obtener tejido y luego las muestras se colocaron en porta objeto adicionando una gota de agua destilada. Las muestras fijadas fueron observadas en un microscopio binocular a 40x de aumento para observar el grosor de la capa empalizada del parénquima foliar.

### **3.8.6 Número de estomas por área**

Se tomaron tres folíolos del tercio medio de las 30 accesiones en estudio, y se realizó la separación de la epidermis del envés del folíolo; para ello, se sumergieron los folíolos en alcohol etílico al 70% por una hora, luego se hizo un corte en el envés por las zonas cerca a las nervaduras con ayuda de una hoja de afeitar, la muestra fue colocada en un porta objeto y se le añadió una gota de lugol (Huamán, 1995).

El recuento del número de estomas se realizó en un microscopio binocular de 100x de aumento, realizando 1 lectura por área.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 GRADO DE DAÑO POR BAJA TEMPERATURA

En el Cuadro 5 y en el Gráfico 1 se muestra los grados de daño causado por las bajas temperaturas. La equivalencia cualitativa de los grados de daño se pueden observar en el Cuadro 4.

El promedio general del grado de daño por bajas temperaturas muestra un incremento de 2.67 veces para el rango de 4°C a 0°C; mientras que para el rango de 0°C a -4°C, el incremento fue mayor (3.69 veces). El grado promedio de daño entre las temperaturas de 4°C a -4°C se incrementó 9.84 veces. Estos resultados confirman lo esperado que a temperaturas más bajas, el grado de daño foliar se incrementa.

Las accesiones provenientes de Apurímac, mostraron grados de reacción entre 0 y 1.0 después de ser sometidas a 4°C; entre 0.33 y 2.67 a 0°C y entre 3.33 a 6.0 después de ser sometidas a -4°C.

Las accesiones provenientes de Cusco, mostraron grados de reacción entre 0 y 2.0 después de ser sometidas a 4°C; entre 0.33 y 4.0 a 0°C y entre 3.0 a 6.0 después de ser sometidas a -4°C.

Las accesiones provenientes de Puno, mostraron grados de reacción entre 0.33 y 2.0 después de ser sometidas a 4°C; entre 0.33 y 4.0 a 0°C y entre 3.0 a 6.0 después de ser sometidas a -4°C.

Se espera que las accesiones provenientes de la región Puno, muestren mayor tolerancia a temperaturas bajas en comparación con las provenientes de las regiones de Cusco y Apurímac. Se encontró que para 4°C y 0°C, las accesiones provenientes de Apurímac mostraron menor grado de reacción y para -4°C, fueron las accesiones provenientes de Cusco y Puno las que mostraron menor grado de reacción.

**Cuadro 5. Grados de daño por bajas temperaturas en las accesiones estudiadas**

Accesión	Nombre Local	4°C				0°C				-4°C			
		1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$
30	Kuchipelo	0	0	0	0.00	0	0	1	0.33	5	5	5	5.00
86	Puka churuspi	0	0	0	0.00	1	1	0	0.67	4	3	2	3.00
102	Kello lomo	0	1	0	0.33	2	2	1	1.67	6	5	5	5.33
104 B	Qello pitiquiña	0	0	0	0.00	0	0	1	0.33	5	5	5	5.00
115	Kello lommo	0	1	1	0.67	0	0	3	1.00	6	6	6	6.00
125	T'uruña	0	0	1	0.33	1	2	1	1.33	6	5	6	5.67
192	Peruanita	0	0	2	0.67	0	2	1	1.00	6	5	6	5.67
204	Kello wayro	1	1	0	0.67	1	1	2	1.33	6	5	5	5.33
351	Wualla chaqui misito	0	0	1	0.33	3	2	0	1.67	4	4	4	4.00
444	Iscupuro khallu	1	1	1	1.00	1	2	2	1.67	6	5	6	5.67
478	Ñutu lomo	0	0	1	0.33	2	2	2	2.00	6	6	6	6.00
505	Panti imilla	1	0	2	1.00	1	2	2	1.67	3	3	3	3.00
550 A	Puka lek'e runtu	1	1	0	0.67	2	2	0	1.33	4	4	4	4.00
552	Puka linli	0	0	1	0.33	0	2	2	1.33	6	5	5	5.33
586	Puka lomo	0	1	1	0.67	0	0	3	1.00	6	5	6	5.67
623	Roque	0	0	1	0.33	1	0	1	0.67	5	5	5	5.00
650	Socco kuchiaca	0	0	2	0.67	1	1	1	1.00	6	6	6	6.00
699	Wencos	0	0	0	0.00	0	0	1	0.33	4	4	4	4.00
746	Yana maktillo	2	2	2	2.00	4	4	4	4.00	6	6	6	6.00
753	Yana millma	1	0	1	0.67	2	1	2	1.67	6	6	6	6.00
756	Yana muro waman uma	0	1	1	0.67	2	2	0	1.33	3	3	4	3.33
823 A	Yuraq k'usi	1	1	0	0.67	0	2	1	1.00	5	5	5	5.00
829	Yuraq molle wincco	0	0	1	0.33	3	1	1	1.67	6	6	6	6.00
915	Pasña suytu	1	1	0	0.67	3	1	1	1.67	4	4	5	4.33
995	Wuayro	0	0	0	0.00	0	2	1	1.00	5	6	5	5.33
1014	Yana llunchu waqachi	1	2	0	1.00	2	3	3	2.67	6	6	5	5.67
1035	Yana wayro	0	1	0	0.33	2	0	1	1.00	6	6	5	5.67
1058	Yuraq wayro	0	1	1	0.67	2	2	2	2.00	5	5	5	5.00
1067	Azul kkaya	0	0	0	0.00	1	0	2	1.00	6	5	5	5.33
1096	Waña	0	0	1	0.33	2	2	0	1.33	2	5	3	3.33

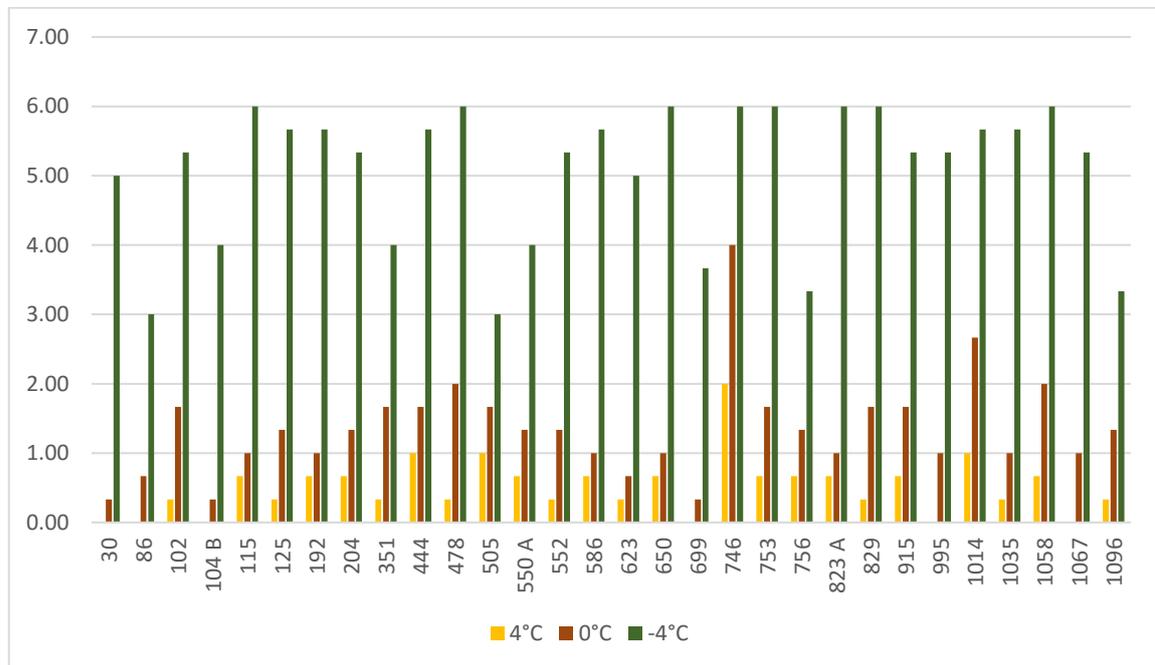
Promedio general

0.51

1.36

5.02

**Gráfico 1. Grados de daño en el follaje de las accesiones sometidas a tres temperaturas bajas.**



En el presente trabajo se adopta la consideración de que la reacción es de tolerancia si el daño máximo fuera de 15 a 30% de necrosis foliar (Grado 3), en el que las plantas muestran hasta solamente muchos folíolos superiores necrosados, sin llegar a morir.

En cuanto a la reacción de las accesiones a la condición de temperatura de 4°C, se puede afirmar que las accesiones Kuchipelo (30), Puka churuspi (86), Kello lomo (102), Qello pitiquiña (104B), T'uruña (125), Wualla chaqui misito (351), Ñutu lomo (478), Puka linli (552), Roque (623), Wenccos (699), Yuraq molle wincco (829), Wuayro (995), Yana wayro (1035), Azul kkaya (1067) y Waña (1096), mostraron tolerancia en valores que van desde grado 0 a 0.33 (sin daño visible o con muy pocos folíolos apicales con ligero bronceado) siendo los menos afectados respecto al promedio general. Mientras que las accesiones Iscupuro khallu (444), Panti imilla (505), Yana maktillo (746) y Yana llunchu waqachi (1014), mostraron menos tolerancia en valores que van desde grado 1.0 a 2.0 (folíolos apicales con ligero bronceado o escasa necrosis).

La reacción de las accesiones a la condición de 0°C permitió identificar a las accesiones Kuchipelo (30), Qello pitiquiña (104 B) y Wenccos (699), mostraron tolerancia en valor 0.33

de grado de daño, siendo los menos afectados respecto al promedio general. Mientras que las accesiones Wualla chaqui misito (351), Iscupuro khallu (444), Ñutu lomo (478), Panti imilla (505), Yana maktillo (746), Yana millma (753), Yuraq molle wincco (829), Pasña suytu (915) y Yana llunchu waqachi (1014), mostraron menor tolerancia en valores que van desde grado 1.67 a 4.0 (ligero bronceado en el foliolo superior o todas las hojas y peciolos con necrosis).

En cuanto a la reacción de las accesiones a la condición de temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$ , se puede afirmar que las accesiones Puka churuspi (86), Panti imilla (505), Yana muro waman uma (756) y Waña (1096), muestran tolerancia en valores que van desde grado 3.0 a 3.33 de grado de daño (muchos foliolos superiores necrosados), siendo los menos afectados respecto al promedio general. Mientras que las accesiones Kello lomo (102), Kello lommo (115), T'uruña (125), Peruanita (192), Kello wayro (204), Iscupuro khallu (444), Ñutu lomo (478), Puka linli (552), Puka lomo (586), Socco kuchiaca (650), Yana maktillo (746), Yana millma (753), Yuraq k'usi (823 A), Yuraq molle wincco (829), Pasña suytu (915), Wuayro (995), Yana llunchu waqachi (1014), Yana wayro (1035), Yuraq wayro (1058) y Azul kkaya (1067), se consideran susceptibles pues su reacción varió en valores que van desde grado 5.33 a 6.0 (todas las hojas y peciolos fuertemente necrosados o toda la planta necrosada).

Las accesiones Kuchipelo (30), Qello pitiquiña (104 B), Wencos (699), Wuayro (995) y Azul kkaya (1067), pueden considerarse como las más tolerantes porque no presentaron daño en el follaje tanto bajo la temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ , aunque bajo  $-4^{\circ}\text{C}$  presentaron mayor daño.

Para disminuir las desviaciones en los grados de daño para cada accesión, se recomienda aumentar el número de plantas para cada temperatura baja.

En el Grafico 1 puede observarse que en condiciones de temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ , se encontró grado de daño 0 (sin daños visibles) en un 20% de las accesiones, 76.67% de las accesiones mostraron daño en rango del 0.33 al 1.0 y 3.33% de las accesiones grado 2. Bajo temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ , el menor grado de daño fue 0.33 en el 10% de las accesiones, 86.67% de las accesiones tuvieron daño en el rango de 0.67 a 2.67 y el 3.33% de las accesiones tuvieron daño en grado 4 (todas las hojas y peciolos con necrosis). En condiciones de temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$ , 66.66% de las accesiones mostraron daño en rango del 3.33 al 5.67, 26.67% de las

accesiones mostraron daño en grado 6 y el 6.67% de las accesiones mostraron daño en grado 3 (muchos foliolos superiores necrosados).

En conclusión, las accesiones que mostraron menor daño a temperaturas bajas de 4°C, 0°C y -4°C, fueron Puka churuspi (86), Panti imilla (505), Yana muro waman uma (756) y Waña (1096).

## **4.2 CONTENIDO DE CLOROFILA**

El promedio general del contenido de clorofila permite identificar a las accesiones Puka lek'e runtu (550 A), Kuchipelo (30), Panti imilla (505), Yana wayro (1035), Yana maktillo (746), Yuraq wayro (1058), Pasña suytu (915), Yana llunchu waqachi (1014), Yuraq k'usi (823 A), Puka lomo (586), Puka linli (552), Ñutu lomo (478) y Yana millma (753), como las de mayor contenido de clorofila en el follaje, con valores que variaron desde 45.18 unidades SPAD a 53.95 unidades SPAD, siendo mejores que dicho promedio; mientras que las accesiones Qello pitiquiña (104B), Azul kkaya (1067), Kello wayro (204), Yuraq molle wincco (829), Puka churuspi (86), Socco kuchiacá (650), Wencos (699), Roque (623), Yana muro waman uma (756), Iscupuro khallu (444), Waña (1096), , Peruanita (192), Kello lomo (102), Kello lommo (115) y Wuayro (995), mostraron menor contenido de clorofila en un rango de 33.89 a 42.82 unidades.

En el Cuadro 6, se muestra el promedio, la desviación estándar y la diferencia de promedios para el Contenido de Clorofila.

El análisis de variancia (Cuadro 7), mostró que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente respecto de las demás en cuanto al contenido de clorofila.

**Cuadro 6. Contenido de clorofila en hojas de papas nativas, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo – 4°C**

Accesiones		Contenido de Clorofila		Diferencia de promedios Tuckey (0.05)	Grado de Daño bajo -4°C
N°	Nombre local	Promedio	Desv.estándar		
753	Yana millma	53.95	3.24	A	6.0
478	Ñutu lomo	52.80	5.67	A B	6.0
552	Puka linli	52.11	4.98	A B C	5.3
586	Puka lomo	50.36	5.60	A B C D	5.6
823 A	Yuraq k'usi	49.32	5.64	A B C D E	5.0
1014	Yana llunchu waqachi	48.95	6.95	A B C D E	5.6
915	Pasña suytu	48.77	4.36	A B C D E F	4.3
1058	Yuraq wayro	48.72	7.78	A B C D E F	5.0
746	Yana maktillo	47.70	4.51	A B C D E F G	6.0
1035	Yana wayro	46.40	7.36	A B C D E F G H	5.6
505	Panti imilla	46.36	4.27	A B C D E F G H	3.0
30	Kuchipelo	45.98	6.63	A B C D E F G H I	5.0
550 A	Puka lek'e runtu	45.18	7.07	A B C D E F G H I J	4.0
125	T'uruña	44.18	2.74	B C D E F G H I J K	5.6
351	Wualla chaqui misito	43.48	7.18	C D E F G H I J K L	4.0
995	Wuayro	42.82	6.70	D E F G H I J K L M	5.3
115	Kello lommo	41.06	4.95	E F G H I J K L M	6.0
102	Kello lomo	39.91	5.71	F G H I J K L M	5.3
192	Peruanita	39.38	3.89	G H I J K L M	5.6
1096	Waña	38.99	7.46	G H I J K L M	3.3
444	Iscupuro khallu	37.91	5.16	H I J K L M	5.6
756	Yana muro waman uma	37.21	6.58	I J K L M	3.3
623	Roque	36.49	5.06	J K L M	5.0
699	Wencos	36.45	7.42	J K L M	4.0
650	Socco kuchiaca	36.40	5.72	J K L M	6.0
86	Puka churuspi	36.05	4.62	K L M	3.0
829	Yuraq molle wincco	35.81	5.84	K L M	6.0
204	Kello wayro	35.07	4.64	L M	5.3
1067	Azul kkaya	34.35	5.49	M	3.3
104 B	Qello pitiquña	33.89	7.54	M	5.0

Promedio general

42.87

5.69

**Cuadro 7. Análisis de Varianza para el Contenido de Clorofila**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones	29	6634	228.75	13.94	0.000	*
Error	150	2461	16.41			
Total	179	9095				

Coeficiente de variación = 13.60%.

La prueba estadística de comparación de promedios mostró que trece (13) accesiones con los mayores contenidos de clorofila (entre 53.9 y 45.1 unidades SPAD) son estadísticamente iguales y no se diferencian en más de 8.77 unidades SPAD. Las accesiones con menor contenido de clorofila (entre 43.4 y 33.8 unidades SPAD) son estadísticamente iguales y sus promedios no se diferencian en más de 8.93 unidades SPAD. Por lo tanto, aparentemente 8 a 9 unidades SPAD es la amplitud en el contenido de clorofila que los hace estadísticamente diferentes.

Las accesiones con mayor contenido de clorofila fueron Yana muro waman uma (753) con 53.95 unidades SPAD, Ñutu lomo (478) con 52.80 unidades SPAD, Puka linli (552) con 52.11 unidades SPAD, Puka lomo (586) con 52.11 unidades SPAD y Yuraq k'usi (823 A) con 50.36 unidades SPAD.

Las accesiones con menor contenido de clorofila fueron Qello pitiquiña (104 B) con 33.89 unidades SPAD, Azul kkaya (1067) con 34.35 unidades SPAD, Kello wayro (204) con 35.07 unidades SPAD, Yuraq molle wincco (829) con 35.81 unidades SPAD y Puka churuspi (86) con 36.05 unidades SPAD.

Entre las accesiones con mayor contenido de clorofila, destaca la accesión Yana millma (753), por presentar 53.95 unidades SPAD y una desviación estándar de las más bajas (3.24); aunque no estadísticamente diferente a otras accesiones cuyo contenido de clorofila fue mayor a 45 unidades SPAD; mientras que la accesión con menor contenido de clorofila fue Qello pitiquiña (104B), con 33.89 unidades SPAD y una desviación estándar de las más altas (7.54).

No se puede afirmar que las accesiones con mayor contenido de clorofila presenten las desviaciones estándar más bajas.

**Cuadro 8. Coeficientes de correlación entre los contenidos de clorofila y el grado de daño por bajas temperaturas**

VARIABLES	Coeficiente de correlación
Contenido de clorofila y grado de daño en plantas sometidas a 4 °C	$r = 0.33$ <sup>ns</sup>
Contenido de clorofila y grado de daño en plantas sometidas a 0°C	$r = 0.22$ <sup>ns</sup>
Contenido de clorofila y grado de daño en plantas sometidas a - 4 °C	$r = 0.21$ <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = No significativo

Los coeficientes de correlación (Cuadro 8) entre el contenido de clorofila y el grado de daño a temperatura de 4°C muestra un valor de 0.33, el valor de 0.22 bajo la temperatura de 0 °C y 0.21 para -4°C, lo cual indica que la relación lineal entre las variables es baja y estadísticamente no significativa; por lo tanto, se concluye que el contenido de clorofila no guarda relación con el grado de daño.

Sundbom *et al.*, (1982) afirman que las hojas de las plantas más sanas (menor nivel de daño y mayor porcentaje de recuperación al estrés de bajas temperaturas) contienen más clorofila que las menos sanas; sin embargo, de acuerdo a los resultados encontrados en las accesiones de papas nativas estudiadas, esta afirmación no se cumple, por lo que se podría asumir que esta diferencia es efecto de la naturaleza genética del material vegetal del presente estudio respecto a los materiales genéticos investigados por Sundbon.

#### **4.3 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN LAS HOJAS (CRA)**

El promedio general del contenido relativo de agua en las hojas permite afirmar que las accesiones Yuraq molle wincco (829), Azul kkaya (1067), Ñutu lomo (478), Yana wayro (1035), Roque (623), T'uruña (125), Kello wayro (204), Socco kuchiaca (650), Kello lommo (115), Kello lomo (102), ), Wualla chaqui misito (351), Peruanita (192), Puka lek'e runtu (550 A), Yana llunchu waqachi (1014), Puka lomo (586), Yuraq wayro (1058), Yana

**Cuadro 9. Contenido relativo de agua en hojas, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo - 4°C**

Accesiones		Contenido relativo de agua		Diferencia de promedios Tuckey (0.05)	Grado de daño a -4°C
N°	Nombre local	Promedio	Desv.estándar		
823 A	Yuraq k'usi	63.05	5.60	A	5.0
995	Wuayro	61.29	5.20	A B	5.3
746	Yana maktillo	60.32	5.00	A B	6.0
1058	Yuraq wayro	55.17	2.72	A B C	5.0
586	Puka lomo	52.12	2.52	A B C D	5.6
1014	Yana llunchu waqachi	51.89	6.09	A B C D	5.6
550 A	Puka lek'e runtu	51.57	5.46	A B C D E	4.0
192	Peruanita	50.75	4.87	A B C D E F	5.6
351	Wualla chaqui misito	50.20	6.42	A B C D E F G	4.0
102	Kello lomo	49.91	6.87	A B C D E F G	5.3
115	Kello lommo	48.53	7.34	A B C D E F G	6.0
650	Socco kuchiacca	48.37	4.59	A B C D E F G	6.0
204	Kello wayro	48.30	4.50	A B C D E F G	5.3
125	T'uruña	48.19	6.57	A B C D E F G	5.6
623	Roque	48.01	3.05	A B C D E F G	5.0
1035	Yana wayro	47.94	2.16	A B C D E F G	5.6
478	Ñutu lomo	47.92	4.17	A B C D E F G	6.0
1067	Azul kkaya	47.78	3.06	A B C D E F G	5.3
829	Yuraq molle wincco	47.45	5.70	A B C D E F G	6.0
753	Yana millma	47.19	6.38	A B C D E F G	6.0
444	Iscupuro khallu	47.03	6.88	B C D E F G	5.6
552	Puka linli	43.15	6.53	C D E F G	5.3
104 B	Qello pitiquiña	43.04	6.02	C D E F G	5.0
915	Pasña suytu	41.22	1.60	C D E F G	4.3
30	Kuchipelo	40.47	6.56	C D E F G	5.0
86	Puka churuspi	37.08	1.45	D E F G	3.0
1096	Waña	35.93	2.74	E F G	3.3
699	Wenccos	35.78	2.03	E F G	4.0
756	Yana muro waman uma	35.24	4.18	F G	3.3
505	Panti imilla	34.53	0.61	G	3.0

Promedio general                      47.32                      4.56

maktillo (746), Wuayro (995) y Yuraq k'usi (823 A), presentaron mayor contenido relativo de agua en las hojas, con valores que variaron desde 47.45% a 63.05% , siendo mayores que el promedio general; mientras que las accesiones Panti imilla (505), Yana muro waman uma (756), Wenccos (699), Waña (1096), Puka churuspi (86), Kuchipelo (30), Pasña suytu (915), Qello pitiquiña (104B), Puka linli (552), Iscupuro khallu (444) y Yana millma (753), mostraron menor contenido de clorofila en un rango de 34.53% a 47.19% unidades.

El análisis de variancia (Cuadro 10), mostró que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente respecto de las demás en cuanto al contenido relativo de agua en las hojas.

**Cuadro 10. Análisis de Varianza para el Contenido relativo de agua en las hojas**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones	29	4694	161.88	6.64	0.000	*
Error	60	1463	24.38			
Total	89	6157				

Coefficiente de variación = 9.59%

La prueba estadística de comparación de promedios mostró que veinte (20) accesiones con los mayores contenidos de agua en las hojas (entre 63.0% y 47.1%) son estadísticamente iguales y no se diferencian en más de 15.87%. Las accesiones con menor contenido de agua en las hojas (entre 47.0% y 34.5%) son estadísticamente iguales y sus promedios no se diferencian en más de 12.5%. Por lo tanto, aparentemente 12 a 16% es la amplitud que los hace estadísticamente diferentes.

Las accesiones con mayor contenido relativo de agua en las hojas fueron Yuraq k'usi (823 A) con 63.05%, Wuayro (995) con 61.29%, Yana maktillo con 60.32%, Yuraq wayro (1058) con 55.17% y Puka lomo (586) con 51.12%.

Las accesiones con menor contenido relativo de agua en las hojas fueron Panti imilla (505) con 34.53%, Yana muro waman uma (756) con 35.24%, Wenccos (699) con 35.78%, Waña (1096) con 35.93% y Puka churuspi (86) con 37.08%.

Entre las accesiones con mayor contenido relativo de agua en las hojas, destaca la accesión Yuraq k'usi (823 A), por presentar 63.06% y una desviación estándar de las más altas; aunque no estadísticamente diferente a otras accesiones cuyo contenido relativo de agua en las hojas fue mayor a 47%; mientras que la accesión con menor relativo de agua en las hojas fue Panti imilla (505), con 34.53% y una desviación estándar de las más bajas.

Los coeficientes de correlación (Cuadro 11) entre el contenido relativo de agua en las hojas y el grado de daño a temperatura de 4°C muestran un valor de 0.32 y de 0.33 con el grado de daño bajo 0 °C y no fueron estadísticamente significativos lo que indica que la relación lineal entre las variables es baja.

**Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre los contenidos relativos de agua en las hojas y el grado de daño por bajas temperaturas**

VARIABLES	Coeficiente de correlación
Contenido relativo de agua en las hojas y grado de daño en plantas sometidas a 4 °C	$r = 0.32^{ns}$
Contenido relativo de agua en las hojas y grado de daño en plantas sometidas a 0°C	$r = 0.33^{ns}$
Contenido relativo de agua en las hojas y grado de daño en plantas sometidas a -4 °C	$r = 0.61^{**}$

<sup>ns</sup> = No significativo      <sup>\*\*</sup> = Significativo

Contrariamente, la correlación entre el contenido relativo de agua en las hojas de las plantas sometidas a -4°C muestra un valor de 0.61 lo que indica que la relación entre las variables es alta y con alta significación estadística; por lo tanto, se concluye que el contenido relativo de agua en las hojas no guarda relación con el grado de daño en plantas sometidas a temperaturas de 4°C y 0°C, pero si guarda relación altamente significativa en las plantas sometidas a -4°C.

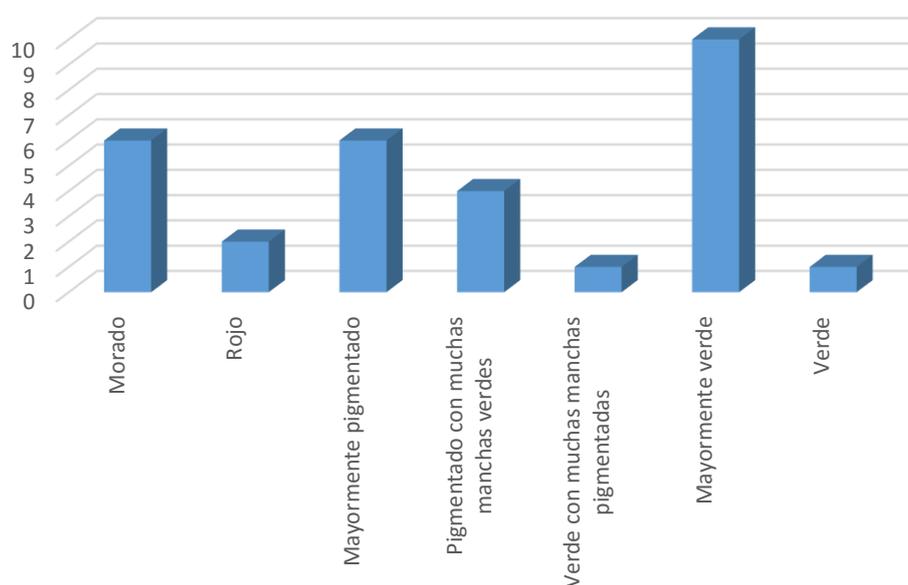
Las accesiones que mostraron tolerancia a temperaturas bajas de -4°C, presentaron contenidos relativos de agua menores que el promedio general. Estos resultados coinciden

con lo reportado por Murillo (1977) quien sostiene que la susceptibilidad de los cultivares a las bajas temperaturas podría estar ligada al mayor contenido relativo de agua en las hojas.

#### 4.4 COLOR DE TALLO

En el gráfico 2 y en el Cuadro 12 se muestra el número de accesiones con tallos de diferente pigmentación. En el gráfico 2 se puede observar que la mayoría de accesiones de papas nativas presentaron tallo mayormente verde y verde; un segundo grupo son aquellas accesiones que presentaron tallo color morado, rojo y tallo mayormente pigmentado.

**Gráfico 2: Color de tallo de las 30 accesiones en estudio**



Las accesiones con tallo morado fueron Kuchipelo (830), Puka churuspi (86), T'uruña (125), Socco kuchiaca (650), Yana maktillo (746) y Yana millma, las accesiones de tallo color rojo fueron Wuayro (995) y Yana llunchu waqachi (1014), las accesiones de tallo color mayormente pigmentado fueron Panti imilla (505), Puka lomo (586), Roque (623), Yana muro waman uma (756), Yuraq molle wincco (829) y Waña (1096); se espera que éstas sean más tolerantes a temperaturas bajas por presentar pigmentos antociánicos frente a las accesiones con tallo color mayormente verde y verde, Kello lomo (102), Kello lommo (115), Peruanita (192), Iscupuro khallu (444), Puka lek'e runtu (550 A), Puka linli (552), Pasñasuytu (915), Yana wayro (1035), Yuraq wayro (1058), Azul kkaya (1067) y Kello wayro (204).

**Cuadro 12. Color de tallo y grado de daño bajo temperaturas de 0 °C, 4 °C y -4 °C en las accesiones de papas nativas**

Accesiones		Color de tallo	Grado de Daño		
N°	Nombre local		0°C	4°C	-4°C
30	Kuchipelo	Morado	0.00	0.30	5.00
86	Puka churuspi	Morado	0.00	0.60	3.00
125	T'uruña	Morado	0.30	1.30	5.60
650	Socco kuchiaca	Morado	0.60	1.00	6.00
746	Yana maktillo	Morado	2.00	4.00	6.00
753	Yana millma	Morado	0.60	1.60	6.00
995	Wuayro	Rojo	0.00	1.00	5.30
1014	Yana llunchu waqachi	Rojo	1.00	2.60	5.60
505	Panti imilla	Mayormente pigmentado	1.00	1.60	3.00
586	Puka lomo	Mayormente pigmentado	0.60	1.00	5.60
623	Roque	Mayormente pigmentado	0.30	0.60	5.00
756	Yana muro waman uma	Mayormente pigmentado	0.60	1.30	3.30
829	Yuraq molle wincco	Mayormente pigmentado	0.30	1.60	6.00
1096	Waña	Mayormente pigmentado	0.30	1.30	3.30
102	Kello lomo	Mayormente verde	0.30	1.60	5.30
115	Kello lommo	Mayormente verde	0.60	1.00	6.00
192	Peruanita	Mayormente verde	0.60	1.00	5.60
444	Iscupuro khallu	Mayormente verde	1.00	1.60	5.60
550 A	Puka lek'e runtu	Mayormente verde	0.60	1.30	4.00
552	Puka linli	Mayormente verde	0.30	1.30	5.30
915	Pasña suytu	Mayormente verde	0.60	1.60	4.30
1035	Yana wayro	Mayormente verde	0.30	1.00	5.60
1058	Yuraq wayro	Mayormente verde	0.60	2.00	5.00
1067	Azul kkaya	Mayormente verde	0.00	1.00	5.30
204	Kello wayro	Verde	0.60	1.30	5.30

Estrada, (2000) menciona que, la tolerancia a las heladas se debe a factores morfológicos como la pigmentación del tallo; al igual que en su publicación del año 1982, afirma que las plantas con tallos que presentan pigmentos antociánicos son más tolerantes a heladas. Esta afirmación coincide parcialmente con nuestros resultados. Solamente coincide en el caso de las accesiones Puka churuspi (86) con tallo morado, Panti imilla (505), Yana muro waman uma (756) y Waña (1096) con tallo mayormente pigmentado, las cuales fueron tolerantes a -4°C.

#### 4.5 GROSOR DE LA CAPA EMPALIZADA DEL PARÉNQUIMA FOLIAR

El promedio general del grosor de la capa empalizada del parénquima foliar (0.48 mm, Cuadro 14), permite afirmar que las seis accesiones que presentaron mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar fueron Wenccos (699), Yuraq wayro (1058), Yana muro waman uma (756), Waña (1096), Panti imilla (505) y Puka churuspi (86), con valores que variaron desde 0.59 mm a 0.69 mm, mayores que dicho promedio; mientras que las accesiones Yana maktillo (746), Yana millma (753), Ñutu lomo (478), Peruanita (192), T'uruña (125), Kello lommo (115), Kello wayro (204), Pasña suytu (915), Wuayro (995), Puka lomo (586), Iscupuro khallu (444), Yuraq k'usi (823 A) y Yuraq molle wincco (829), mostraron menor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar en un rango de 0.31 mm a 0.44 mm.

El análisis de variancia (Cuadro 13), mostró que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente respecto de las demás en cuanto al grosor de la capa empalizada del parénquima foliar.

**Cuadro 13. Análisis de Varianza para el Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones	29	1.06	0.04	23.18	0.000	*
Error	60	0.09	0.002			
Total	89	1.16				

Coefficiente de variación = 7.30%

**Cuadro 14. Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo – 4°C**

Accesiones		Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar		Diferencia de promedios Tuckey (0.05)	Grado de daño bajo – 4°C
N°	Nombre local	Promedio	Desv.estándar		
86	Puka churuspi	0.69	0.03	A	3.0
505	Panti imilla	0.68	0.02	A	3.0
1096	Waña	0.68	0.02	A	3.3
756	Yana muro waman uma	0.67	0.03	A B	3.3
1058	Yuraq wayro	0.64	0.04	A B C	5.0
699	Wenccos	0.59	0.08	A B C D	4.0
552	Puka linli	0.55	0.02	B C D E	5.3
650	Socco kuchiacá	0.54	0.08	C D E F	6.0
623	Roque	0.53	0.03	C D E F	5.0
102	Kello lomo	0.49	0.07	D E F G	5.3
30	Kuchipelo	0.48	0.02	D E F G H	5.0
104 B	Qello pitiquiña	0.47	0.01	D E F G H	5.0
550 A	Puka lek'e runtu	0.47	0.03	D E F G H	4.0
1035	Yana wayro	0.47	0.03	D E F G H	5.6
1014	Yana llunchu waqachi	0.46	0.04	E F G H	5.6
351	Wualla chaqui misito	0.44	0.02	E F G H I	4.0
1067	Azul kkaya	0.44	0.05	E F G H I	5.3
829	Yuraq molle wincco	0.44	0.04	E F G H I J	6.0
823 A	Yuraq k'usi	0.43	0.02	E F G H I J	5.0
444	Iscupuro khallu	0.42	0.03	E F G H I J	5.6
586	Puka lomo	0.42	0.02	F G H I J	5.6
995	Wuayro	0.41	0.02	F G H I J	5.3
915	Pasña suytu	0.39	0.02	G H I J	4.3
204	Kello wayro	0.38	0.03	G H I J	5.3
115	Kello lommo	0.38	0.02	G H I J	6.0
125	T'uruña	0.36	0.03	H I J	5.6
192	Peruanita	0.36	0.09	H I J	5.6
478	Ñutu lomo	0.35	0.04	H I J	6.0
753	Yana millma	0.33	0.02	I J	6.0
746	Yana maktillo	0.31	0.03	J	6.0

Promedio general                      0.48                      0.03

La prueba estadística de comparación de promedios mostró que seis (6) accesiones con el mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar (entre 0.69 mm y 0.59 mm) son estadísticamente iguales y no se diferencian en más de 0.1 mm. Las accesiones con menor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar (entre 0.44 mm y 0.31 mm) son estadísticamente iguales y sus promedios no se diferencian en más de 0.13 mm.

Las accesiones con mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar fueron Puka churuspi (86) con 0.69 mm, Panti imilla (505) con 0.68 mm, Waña (1096) con 0.68 mm, Yana muro waman uma (756) con 0.67 mm y Yuraq wayro (1058) con 0.64 mm.

Las accesiones con menor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar fueron Yana maktillo (746) con 0.31 mm, Yana millma (753) con 0.33 mm, Ñutu lomo (478) con 0.35mm, Peruanita (192) con 0.36 mm y T'uruña (125) con 0.36 mm.

Entre las accesiones con mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, destaca la accesión Puka churuspi (86), por presentar 0.69 mm de grosor y una desviación estándar de las más bajas (0.03); aunque no estadísticamente diferente a otras accesiones cuyo grosor de la capa empalizada del parénquima foliar fue mayor a 0.59 mm; mientras que la accesión con menor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar fue Yana maktillo (746), con 0.31 mm de grosor. No se puede afirmar que las accesiones con mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar presenten las desviaciones estándar más bajas.

**Cuadro 15. Coeficientes de correlación entre el grosor de la capa empalizada del parénquima foliar y el grado de daño por bajas temperaturas**

Variables	Coeficiente de correlación
Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar y grado de daño en plantas sometidas a 4 °C	$r = - 0.26$ <sup>ns</sup>
Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar y grado de daño en plantas sometidas a 0°C	$r = - 0.28$ <sup>ns</sup>
Grosor de la capa empalizada del parénquima foliar y grado de daño en plantas sometidas a - 4 °C	$r = - 0.76$ <sup>**</sup>

<sup>ns</sup> = No significativo      <sup>\*\*</sup> = Significativo

El coeficiente de correlación entre el grosor de la capa empalizada del parénquima foliar y el grado de daño a temperatura de 4°C muestra un valor de -0.26, para 0 °C el valor es de -0.28, lo cual indica que ambas relaciones lineales entre las variables son negativas (a mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar, menor grado de daño), bajas y estadísticamente no significativas, mientras que en los tratamientos bajo -4 °C muestra un valor de -0.76, mostrando que la relación entre las variables es negativa y altamente significativa; por lo tanto, se concluye que el grosor de la capa empalizada del parénquima foliar no guarda relación con el grado de daño para las temperaturas de 4°C y 0°C, pero si guarda relación para -4 °C. Las accesiones que mostraron tolerancia a temperaturas bajas de - 4 °C, presentaron mayor grosor de la capa empalizada del parénquima foliar.

Estrada, (2000) menciona que la tolerancia a las heladas se debe a factores morfológicos como la capa empalizada más gruesa en el tejido parenquimatoso de las hojas; al igual que Pino *et al.*, (2006) quien afirma que la tolerancia a heladas se debe a la capa empalizada del parénquima foliar más gruesa. Nuestros resultados coinciden con ambos autores.

#### 4.6 NÚMERO DE ESTOMAS POR ÁREA

Las accesiones con mayor número de estomas con valores que variaron desde 5.99 unidades por área a 7.74 unidades por área fueron Kello wayro (204), Kello lomo (102), T'uruña (125), Pasña suytu (915), Wuayro (995), Yana llunchu waqachi (1014), Iscupuro khallu (444), Kuchipelo (30), Yuraq wayro (1058), Yuraq molle wincco (829), Puka linli (552), Yuraq k'usi (823 A), Puka lomo (586), Yana millma (753), Yana wayro (1035), Yana maktillo (746), Ñutu lomo (478), Kello lommo (115) y Socco kuchiaca (650); las accesiones Puka churuspi (86), Panti imilla (505), Waña (1096), Yana muro waman uma (756) y Wenccos (699), mostraron menor número de estomas por área en un rango de 3.33 unidades por área a 4.37 unidades por área.

El análisis de variancia (Cuadro 16), mostró que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que al menos una de las accesiones es diferente respecto de las demás en cuanto al número de estomas por área.

**Cuadro 16. Análisis de Varianza para el Número de estomas por área**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones	29	115.50	3.98	12.71	0.000	*
Error	60	18.81	0.31			
Total	89	134.31				

Coefficiente de variación = 6.78%

En el Cuadro 17, se muestra el promedio, la diferencia estadística de promedios y el grado de daño bajo  $-4^{\circ}\text{C}$  en las accesiones de acuerdo al número de estomas por área.

La prueba estadística de comparación de promedios mostró que diez y nueve (19) accesiones con el mayor número de estomas por área (entre 7.74 y 5.99 unidades) son estadísticamente iguales y no se diferencian en más de 1.75 unidades. Las accesiones con menor número de estomas por área (entre 4.37 y 3.33 unidades) son estadísticamente iguales y sus promedios no se diferencian en más de 1.04 unidades. Por lo tanto, aparentemente 1 a 2 unidades es la amplitud que los hace estadísticamente diferentes.

**Cuadro 17. Promedio del número de estomas, diferencia estadística de promedios y grado de daño bajo - 4 °C**

Accesiones		Número de estomas por área		Diferencia de promedios Tuckey (0.05)	Grado de daño bajo -4°C
N°	Nombre local	Promedio	Desv.estándar		
650	Socco kuchiaca	7.74	0.25	A	6.0
115	Kello lommo	7.60	0.59	A	6.0
478	Ñutu lomo	7.32	0.19	A B	6.0
746	Yana maktillo	7.32	0.19	A B	6.0
1035	Yana wayro	7.22	0.12	A B	5.6
753	Yana millma	7.14	0.18	A B C	6.0
586	Puka lomo	7.06	0.50	A B C	5.6
823 A	Yuraq k'usi	7.02	0.07	A B C	5.0
552	Puka linli	6.89	1.45	A B C D	5.3
829	Yuraq molle wincco	6.77	0.29	A B C D	6.0
1058	Yuraq wayro	6.76	0.40	A B C D	5.0
30	Kuchipelo	6.56	0.45	A B C D	5.0
444	Iscupuro khallu	6.52	0.28	A B C D	5.6
1014	Yana llunchu waqachi	6.36	0.54	A B C D	5.6
995	Wuayro	6.35	0.04	A B C D	5.3
915	Pasña suytu	6.30	0.62	A B C D	4.3
125	T'uruña	6.24	0.26	A B C D	5.6
102	Kello lomo	6.08	0.27	A B C D E	5.3
204	Kello wayro	5.99	1.84	A B C D E F	5.3
623	Roque	5.68	0.29	B C D E F G	5.0
1067	Azul kkaya	5.62	0.28	B C D E F G	5.3
192	Peruanita	5.57	0.12	B C D E F G	5.6
550 A	Puka lek'e runtu	5.41	0.17	C D E F G	4.0
104 B	Qello pitiquiña	5.41	0.71	C D E F G	5.0
351	Wualla chaqui misito	5.15	0.18	D E F G	4.0
699	Wencos	4.37	0.36	E F G H	4.0
756	Yana muro waman uma	4.20	0.27	F G H	3.3
1096	Waña	4.19	0.90	F G H	3.3
505	Panti imilla	4.12	0.12	G H	3.0
86	Puka churuspi	3.33	0.11	H	3.0

Promedio general                      6.08                      0.40

Las accesiones con mayor número de estomas por área fueron Socco kuchiaca (650) con 7.74 unidades, Kello lommo (115) con 7.60 unidades, Ñutu lomo (478) con 7.32 unidades, Yana maktillo (746) con 7.32 unidades y Yana wayro (1035) con 7.22 unidades.

Las accesiones con menor número de estomas por área fueron Puka churuspi (86) con 3.33 unidades, Panti imilla (505) con 4.12 unidades, Waña (1096) con 4.19 unidades, Yana muro waman uma (756) con 4.20 unidades y Wenccos (699) con 4.37 unidades.

Entre las accesiones con mayor número de estomas por área, destaca la accesión Socco kuchiaca (650), por presentar 7.74 unidades y una desviación estándar de las más bajas (0.25); aunque no estadísticamente diferente a otras accesiones cuyo número de estomas por área fue mayor a 5.99 unidades; mientras que la accesión con menor número de estomas por área fue Puka churuspi (86), con 3.33.

**Cuadro 18. Coeficientes de correlación entre el número de estomas por área y el grado de daño por bajas temperaturas**

Variables	Coeficiente de correlación
Número de estomas por área y grado de daño en plantas sometidas a 4 °C	$r = 0.29^{ns}$
Número de estomas por área y grado de daño en plantas sometidas a 0°C	$r = 0.28^{ns}$
Número de estomas por área y grado de daño en plantas sometidas a - 4 °C	$r = 0.88^{**}$

<sup>ns</sup> = No significativo      <sup>\*\*</sup> = Significativo

Los coeficientes de correlación entre el número de estomas por área y el grado de daño a temperaturas de 4°C y 0 °C indican que la relación entre estas variables es baja y estadísticamente no significativa. Contrariamente, el coeficiente de correlación lineal en condiciones de - 4 °C muestra un valor de 0.88 que indica que la relación entre las variables es positiva y altamente significativa. Las accesiones que mostraron tolerancia a temperatura de - 4 °C, presentaron menor número de estomas por área. Estrada (2000) menciona que la tolerancia a las heladas se debe a factores morfológicos como una menor área de estomas.

## V. CONCLUSIONES

Las 30 accesiones en estudio mostraron tolerancia a temperaturas de 4°C y 0°C por lo que se puede afirmar que la muestra de papas nativas estudiadas tolera estos grados de bajas temperaturas que les causa daño equivalente a “heladas suaves”.

Las accesiones Puka churuspi, Panti imilla, Yana muro waman uma y Waña mostraron menor grado de daño después de ser sometidas a temperaturas de 4°C, 0°C y -4°C por lo que se puede afirmar que toleran “heladas suaves” y “fuertes”.

De las variables en estudio, se puede concluir que las papas nativas con capa empalizada del parénquima foliar más gruesa, menor contenido relativo de agua y menor número de estomas por área presentan mayor tolerancia a temperaturas bajas.

Las características del contenido de clorofila y color de tallo no guardan relación con la tolerancia a temperaturas bajas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda evaluar las accesiones más tolerantes en condiciones de campo y con mayor riesgo de heladas con el fin de corroborar los resultados obtenidos en esta investigación.
- Se recomienda hacer estudios de caracterización citológica con el fin de conocer la identificación taxonómica de las accesiones estudiadas.
- Se recomienda realizar análisis físico-químicos de cada accesión, así como de su contenido nutricional con el fin de complementar la información para su registro en el Registro Nacional de la Papa Nativa Peruana (RNPNP).
- Se recomienda para futuros estudios evaluar el grado de tolerancia a temperaturas menores de 0°C.
- Se recomienda para futuros estudios evaluar características asociadas a la capacidad de recuperación de las plantas después de su exposición a temperaturas menores de 0°C.
- Se recomienda para futuros estudios evaluar el grado de tolerancia a bajas temperaturas en diferentes estados fenológicos (crecimiento inicial, crecimiento lineal y pleno crecimiento).

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN C. (1993). Las heladas en el Perú. Revista Agraria. Organización Nacional Agraria. Año 2 No 3. Marzo. Pág. 22-24.
- BALLÓN, E. y CERRÓN, R. (2002). Terminología Agraria Andina: nombres quechumaras de la papa, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas (CBC), Centro Internacional de la Papa (CIP), Cusco, Perú.
- CAMPOS, D. (2005). Agroclimatología cuantitativa de cultivos. Editorial Trillas. México. 320p.
- CARAZAS, Y. (2007). Estrategias de mitigación en comunidades campesinas criadoras de alpaca. Lima: Soluciones Prácticas-ITDG, 2007.
- CENTRO DE ESTUDIO Y PREVENCIÓN DE DESASTRES, PREDES. (2008). Conozca los Peligros y Vulnerabilidades de los Distritos de Crucero, Ajoyani, Corani, Macusani Provincia de Carabaya, Región Puno. 28 pp.
- CHANG, D. C., SOHN, H. B., CHO, J. H., IM, J. S., JIN, Y. I., DO, G. R., KIM, S.J., CHO, H.M., Y LEE, Y. 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, T.H. H., Y LI, P. H. (1980). Characteristics of cold acclimation and deacclimation in tuber-bearing Solanum species. Plant Physiology 65(6): 1146-1148.
- CIP [en línea]. International Potato Center, CIP. (Fecha de consulta: 28 de mayo de 2017). Disponible en <https://cipotato.org/es/conserving-diversity-for-the-future/>
- CONAM. (2006) Peligros climáticos, biodiversidad, desertificación y pobreza en el Perú. Lima: CONAM-GTZ, 2006. 200 pp.
- DA MOTTA, F. (1961). Geadas da primavera no Rio Grande do Sul. Cir. Inst. Agron. S. Pelotas. Brasil. Pág. 1-15.
- DE FINA, A. L. (1945): Los Elementos Climáticos y los Cultivos. Editorial Sudamericana, Buenos Aires, segunda edición, 258 pp.
- DWELLE R.; KLEINKOPF G.; PAVEK J. (1981). Stomatal conductance and gross photosynthesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance, temperature, and growth stage. Potato Res 24(1): 49-59.

- DURAND, M. 2012. Descripción morfológica y fisio- agronómica de cultivares de papa nativa (*Solanum sp*) colectadas en el Centro Poblado de Pomamanta, Comas, Junín. Tesis Mag. Sc., Univ. Nac. Agraria La Molina. Lima Perú. 131 p.
- ELÍAS, F., CASTELLVI, F. (2001). Agrometeorología. Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, segunda edición. 517 pp.
- ESTRADA, N. (2000). La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. CIP-PROINPA. La Paz, Bolivia. 372 p.
- FAIRLIE, T. E., Y ORTEGA, A. (1995). Efecto de la presencia de heladas simuladas en diferentes estados fenológicos y su impacto en el rendimiento de la papa cv Ccompis: estudio preliminar. Revista Latinoamericana de la Papa, 7(8), 86-93.
- FONSECA, C.; BURGOS, G.; RODRÍGUEZ, F.; MUÑOA, L.; ORDINOLA, M. (2014): Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica. Primera edición, Centro Internacional de la papa (CIP).
- FRERE, M.; RIJKS, J.; REA, J. (1975). Estudio agro climatológico de la zona andina: informe técnico. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- GRAVES, C. (2000). La papa, tesoro de los Andes: de la agricultura a la cultura. Centro Internacional de la Papa, Lima.
- GUTIÉRREZ, R. (2008). Papas nativas desafiando al cambio climático. Primera edición, Soluciones Prácticas-ITDG, 82 pp.
- HAWKES, J.G. (1990). The Potato: evolution, biodiversity and genetic resources, Belhaven Press, United Kingdom (UK).
- HIJMANS, R. J. (1999). Estimating frost risk in potato production on the Altiplano using interpolated climate data. CIP Program Report, 1998, 373-380.
- HIJMANS, R.; M. JACOBS; J. BAMBERG; D. SPOONER. (2002). La tolerancia a las heladas en especies de patatas silvestres. pp. 47-49.
- HUAMÁN, Z. (1995). Técnicas citológicas para determinar el número cromosómico y la fertilidad de las papas. 18pp.
- HUAMÁN, Z. y SPOONER, D.M. (2002). Reclassification of Landrace Populations of Cultivated Potatoes (*Solanum* sect. *Petota*), American Journal of Botany, Vol. 89(6).

- HUANCO, V. (1992). Potencial de las papas amargas en el Altiplano de Puno. En: Rea, J; Vacher, j. La papa amarga. Primera mesa redonda: Perú-Bolivia. La Paz: ORSTOM. pp. 25-56.
- Huarte, M y Okada, K. 2003. Las papas nativas y el rol de INTA. Revisado en: [www.inta.gov.ar/balance/info/documentos/agric/hortic/papa/mej/papas\\_andinas](http://www.inta.gov.ar/balance/info/documentos/agric/hortic/papa/mej/papas_andinas).
- INIA (2016). Descriptores mínimos de papa (*Solanum sp*) para el registro nacional de la papa nativa peruana. Segunda edición noviembre 2016. 20 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Informática (INEI). 2014. Nota de prensa N° 082: producción de papa creció 45 por ciento. Revisado en: <http://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/produccion-de-papa-crecio-45-7582/>
- LASSO, L. (1987). Anotaciones sobre el fenómeno de las heladas. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-HIMAT. Bogotá, segunda edición. 47 pp.
- LEÓN, J. 2016. El 30 por ciento de las papas que se comercializan en el Gran Mercado Mayorista de Lima son variedades nativas (En Línea). Consultado el 10 de Junio, 2016. Disponible en: <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/bolet%C3%ADn+agraria/155075e7e5e041ee>
- LEVITT, J. (1980). Las respuestas de las plantas al estrés ambiental. Prensa Académica. Nueva York. pp. 497
- MATÍAS L., A. FUENTES Y F. GARCÍA (2007). Heladas. En: [http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/1412008Fasc.\\_Heladas\\_2007.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/1412008Fasc._Heladas_2007.pdf)
- MONTEROS, C., JIMENEZ, J.; LOPEZ, G.; (2006). Conocimiento y percepción de las papas nativas en el Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Programa Nacional de Raíces y Tubérculos, rubro papa (PNRT-Papa), Proyecto Papa Andina. 10 pp.
- OCHOA, C.M. (1999). Las Papas de Sudamérica: Perú (Parte 1). Allen Press, Kansas, Estados Unidos (USA).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE METEOROLOGÍA. OMM. (1992): Vocabulario meteorológico internacional. Organización Meteorológica Mundial. Segunda edición, OMM N° 182. Ginebra, Suiza.

- PALTA, J y LI, P. (1977). Características anatómicas asociadas con heladas en varias especies. *Plant Physiol.* 196 pp.
- PALTA, J. P., AND LI, P. H. (1980). Alterations in membrane transport properties by freezing injury in herbaceous plants: Evidence against rupture theory. *Physiologia Plantarum*, 50(2), 169-175.
- PEREYRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. (2002): *Agrometeorología: fundamentos e aplicacoes praticas.* Livraria e Editora Agropecuaria Ltda. Guaiba, Brasil, 478 pp.
- PEREYRA, D.; ZITACUARO, I.; PALMA, B. (1990): *Heladas en el Cofre de Perote: Técnicas de protección.* Primera edición, Universidad Veracruzana, México. 45 pp.
- PRANGE R.; MCRAE K.; MIDMORE D.; DENG R. (1990) Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. *Am Pot J* 67(6), 357-369.
- PROGRAMA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO, PACC – PERÚ. (2012). *Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco.* PACC Apurímac – Perú. 113 pp.
- RUIZ, J. (2014). Tesis Identificación de variedades nativas de papa (*Solanum* sp.) tolerantes a las heladas frente al cambio climático, Huancayo.
- SALAS, L., HIJMANS, R.; SPOONER, D.; GUARINO, A; DE LA CRUZ, J. (2001). *Atlas de las papas silvestres.* Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Roma, Italia. 130 pp.
- SALISBURY, F., ROOS, C. (2000). *Fisiología de las plantas 3. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental.* España. Pp. 909-943.
- SENAMHI [en línea]. Descarga de datos hidrometeorológicos. (Fecha de consulta: 26 de febrero de 2018). Disponible en <http://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- SNYDER R.L.; PAULO DE MELO-ABREU J. (2005). *Frost Protection: fundamentals, practice and economics.* Volume 1. FAO. Series No 10. Roma.
- SPOONER, D.M., MCLEAN, K., RAMSAY, G., WAUGH, R. y BRYAN, G.J. (2005). A Single Domestication for Potato Based on Multilocus Amplified Fragment Length Polymorphism Genotyping, *PNAS*, Vol. 102(41).

- STEPONKUS, P. L. (1984). Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annual Review of Plant Physiology* 35(1): 543-584.
- STRUIK P.; GEERTSEMA J.; CUSTERS C. (1989) Effects of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. III. Development of tubers. *Potato Res* 32 (2): 151-158.
- TAPIA, M.E. Y DE LA TORRE, A. (1992). La mujer campesina y las semillas andinas: Género y el manejo de los recursos genéticos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome. Última revisión febrero 2010.
- TIMLIN D.; LUTFOR RAHMAN S.; BAKER J.; REDDY V.; FLEISHER D.; QUEBEDEAUX B. (2006) Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. *Agron J* 98(5): 1195-1203.
- TOIVIO-KINNUCAN, M. A., CHEN, H. H., LI, P. H., Y STUSHNOFF, C. (1981). Plasma membrane alterations in callus tissues of tuber bearing *Solanum* species during cold acclimation. *Plant Physiology*, 67(3): 478-483.
- ZUMBA, M. (2008). Caracterización morfo-agronómica y etnobotánica de 49 papas nativas ecuatorianas de Cotopaxi. Tesis, Universidad de Cotopaxi, Facultad de Agronomía. Latacunga, Ecuador. 67 pp.

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1. Treinta accesiones provenientes de las regiones Apurímac, Cusco y Puno.**

<b>Número de accesión</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre Local</b>	<b>Región</b>
444	AP-MCHQ034	Iscupuro khallu	Apurímac
204	AP-MCHQ061	Kello wayro	Apurímac
30	AP-MCHQ015	Kuchipelo	Apurímac
915	AP-GPQ023	Pasña suytu	Apurímac
552	AP-JCA013	Puka linli	Apurímac
623	AP-MACH009	Roque	Apurímac
1096	AP-JZH014	Waña	Apurímac
699	AP-CCA024	Wenccos	Apurímac
995	AP-JZH015	Wuayro	Apurímac
1014	AP-MSP031	Yana llunchu waqachi	Apurímac
753	AP-GPQ041	Yana millma	Apurímac
1067	CZ-MCH006	Azul kkaya	Cusco
102	CZ-PMT017	Kello lomo	Cusco
86	CZ-VQC043	Puka churuspi	Cusco
550 A	CZ-JCH043	Puka lek'e runtu	Cusco
104 B	CZ-VQC049	Qello pitiquiña	Cusco
650	CZ-JCH074	Socco kuchiaca	Cusco
351	CZ-VQC019	Wualla chaqui misito	Cusco
746	CZ-JCH102	Yana maktillo	Cusco
756	CZ-PPT042	Yana muro waman uma	Cusco
823 A	CZ-PPT049	Yuraq k'usi	Cusco
829	CZ-JCH130	Yuraq molle wincco	Cusco
1058	CZ-MCH071	Yuraq wayro	Cusco
115	PU-JBM020	Kello lommo	Puno
478	PU-JBM012	Ñutu lomo	Puno
505	PU-IMM015	Panti imilla	Puno
192	PU-ATL014	Peruanita	Puno
586	PU-ATL016	Puka lomo	Puno
125	PU-CAM026	T'uruña	Puno
1035	PU-MCM009	Yana wayro	Puno

Fuente: Base de datos del Proyecto 108\_PI – PNIA-INIA.2016

**Anexo 2. Estado fenológico de las treinta accesiones provenientes de las regiones Cusco, Puno y Apurímac antes de ser sometidas a 4°C, 0°C y -4°C.**

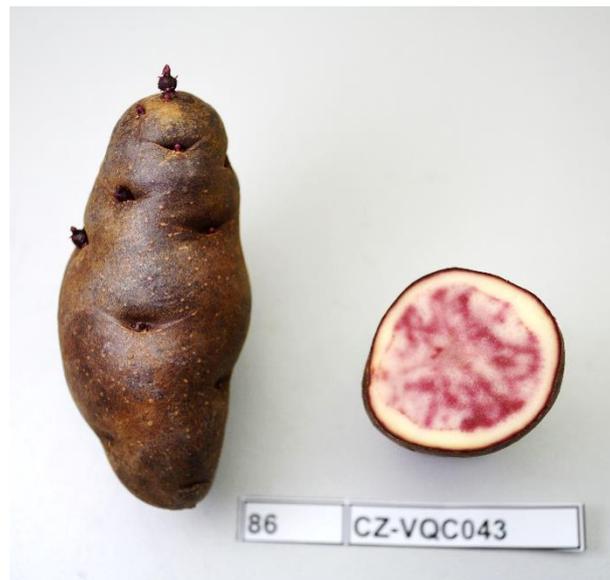
<b>Accesión</b>	<b>Nombre Local</b>	<b>Estado Fenológico</b>
30	Kuchipelo	Pre floración
86	Puka churuspi	Pre floración - Floración
102	Kello lomo	Floración
104 B	Qello pitiquiña	Pre floración - Floración
115	Kello lommo	Pre floración - Floración
125	T'uruña	Pre floración - Floración
192	Peruanita	Pre floración - Floración
204	Kello wayro	Floración
351	Wualla chaqui misito	Pre floración - Floración
444	Iscupuro khallu	Pre floración - Floración
478	Ñutu lomo	Floración
505	Panti imilla	Pre floración
550 A	Puka lek'e runtu	Pre floración - Floración
552	Puka linli	Crecimiento vegetativo
586	Puka lomo	Pre floración - Floración
623	Roque	Crecimiento vegetativo
650	Socco kuchiacaca	Crecimiento vegetativo
699	Wenccos	Pre floración - Floración
746	Yana maktillo	Pre floración - Floración
753	Yana millma	Crecimiento vegetativo
756	Yana muro waman uma	Pre floración - Floración
823 A	Yuraq k'usi	Floración
829	Yuraq molle wincco	Crecimiento vegetativo
915	Pasña suytu	Floración
995	Wuayro	Pre floración
1014	Yana llunchu waqachi	Floración
1035	Yana wayro	Pre floración - Floración
1058	Yuraq wayro	Pre floración - Floración
1067	Azul kkaya	Crecimiento vegetativo
1096	Waña	Floración

**Anexo 3. Fotografías de las treinta accesiones provenientes de Cusco, Puno y Apurímac.**

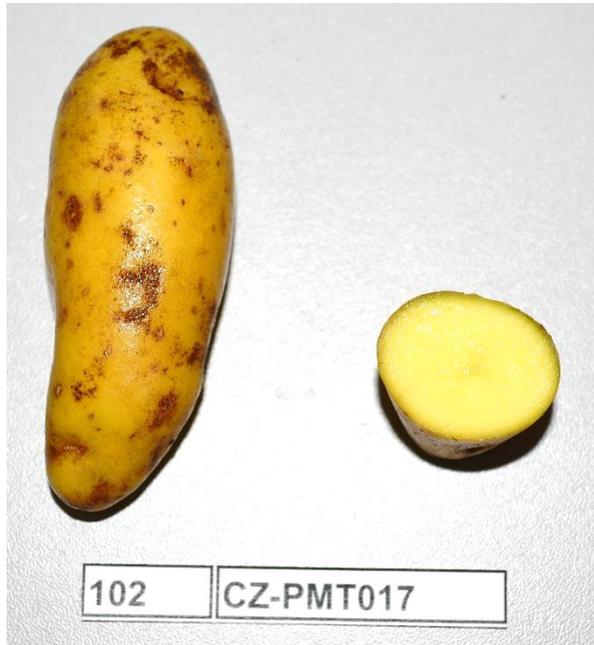
**Accesión 30: Kuchipelo**



**Accesión 86: Puka churuspi**



**Accesión 102:** Kello lomo



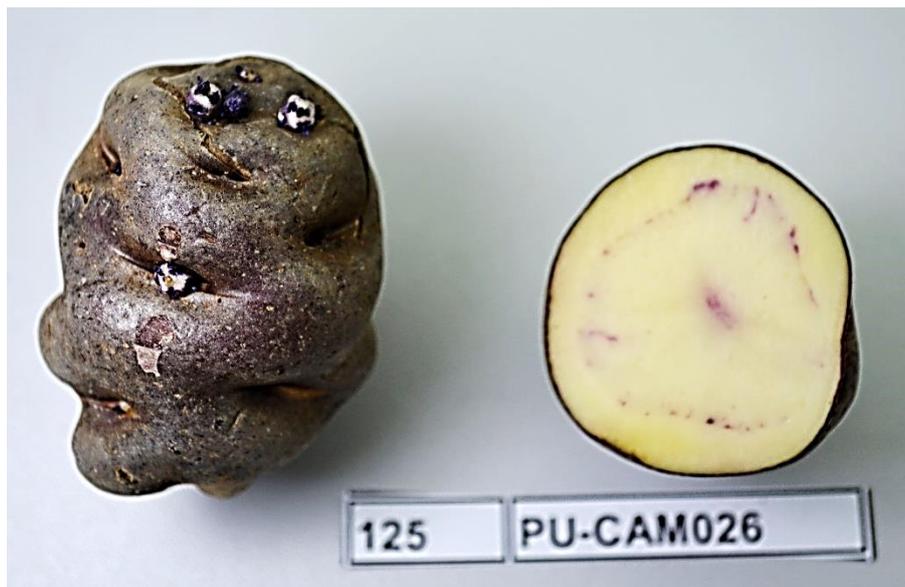
**Accesión 104B:** Qello pitiquiña



**Accesión 115: Kello lomo**



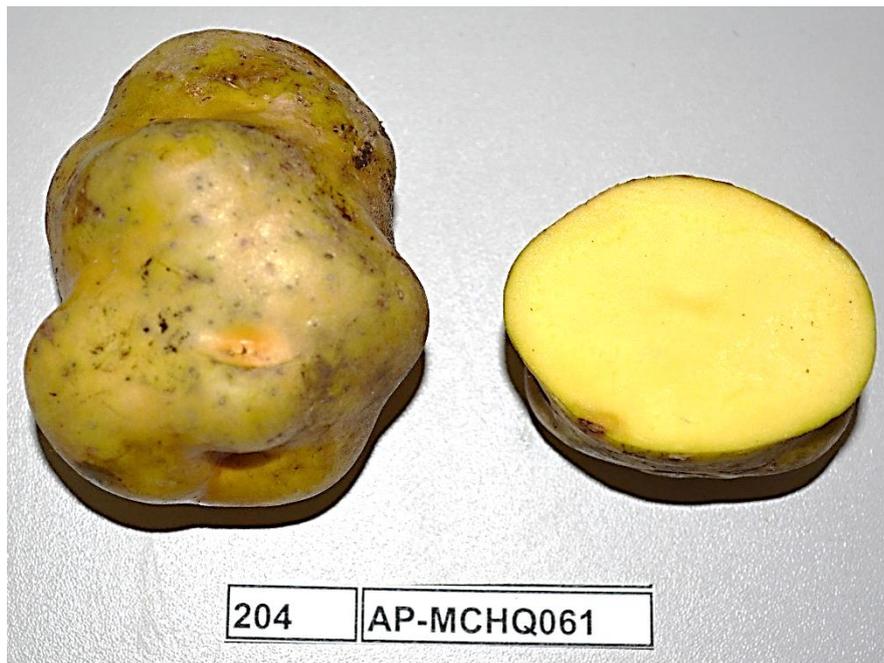
**Accesión 125: T'uruña**



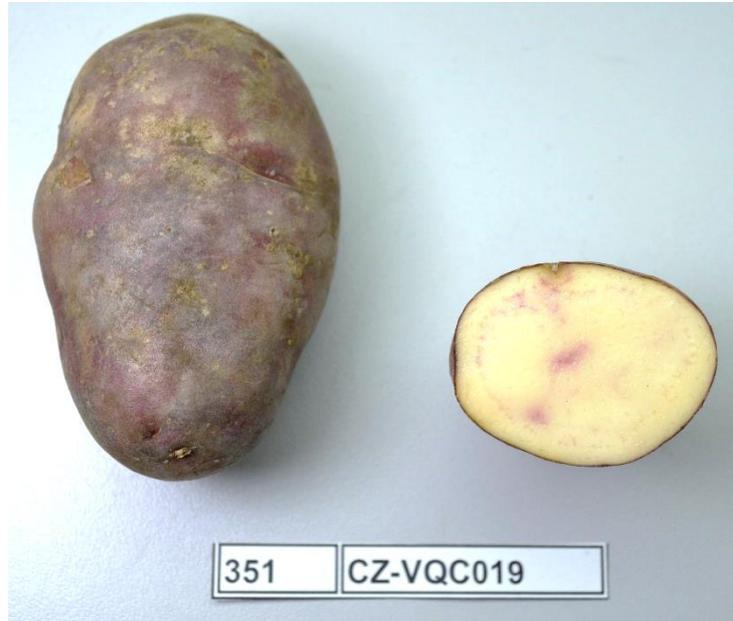
**Accesión 192: Peruanita**



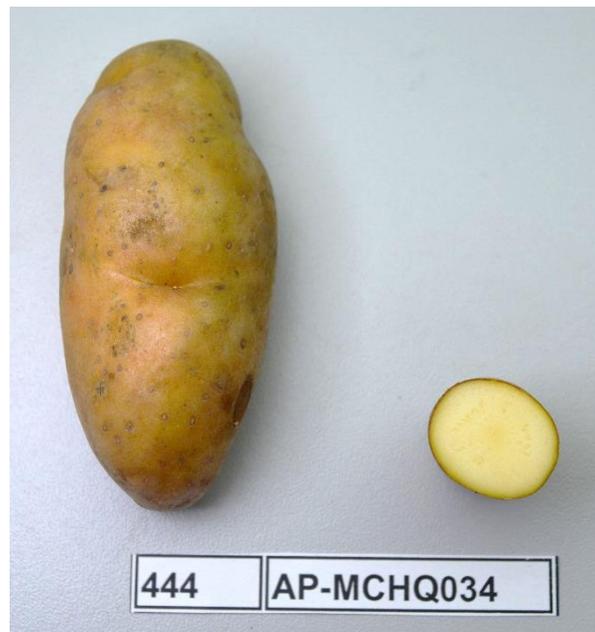
**Accesión 204: Kello wayro**



**Accesión 351:** Wualla chaqui misito



**Accesión 444:** Iscupuro khallu



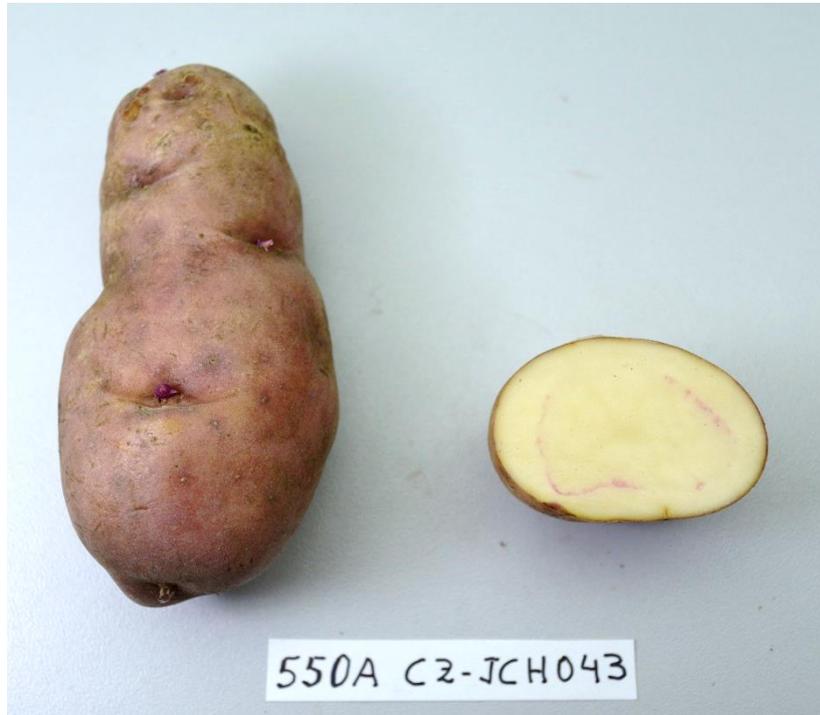
**Accesión 478: Ñutu lomo**



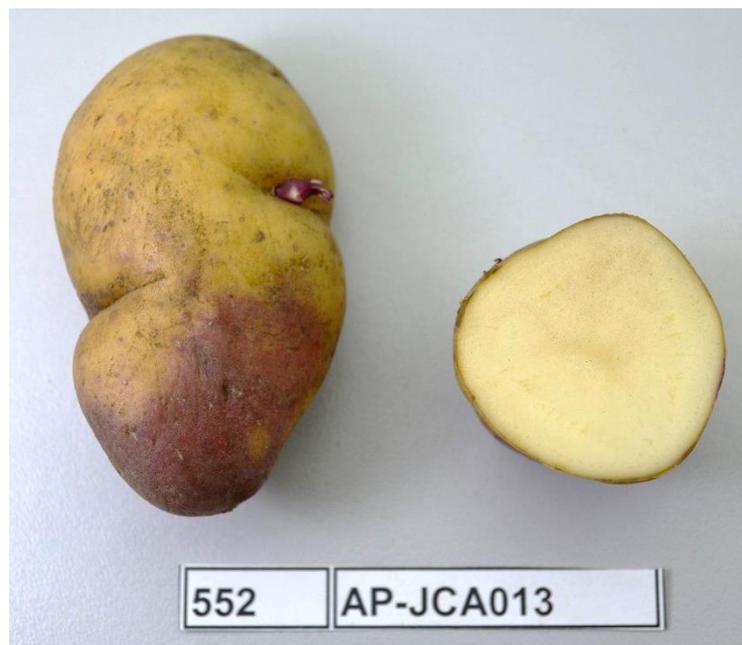
**Accesión 505: Panti imilla**



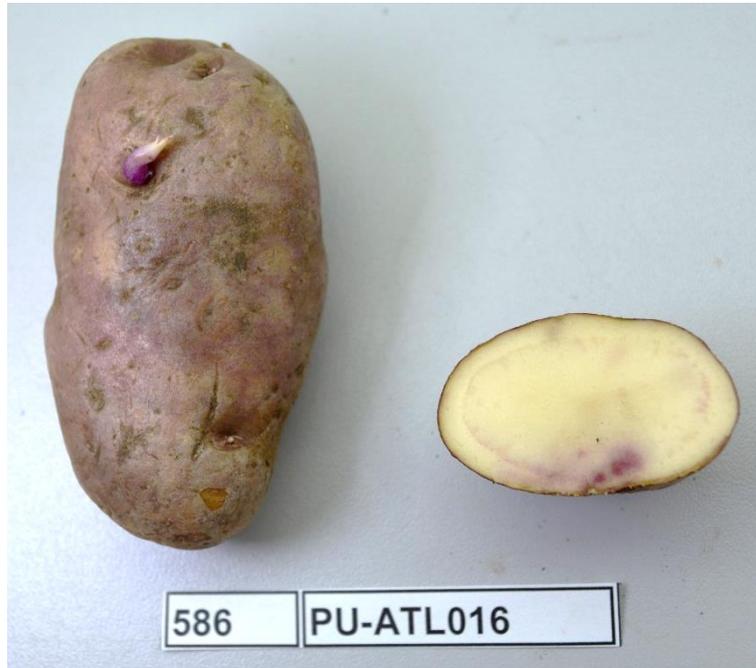
**Accesión 550A: Puka lek'e runtu**



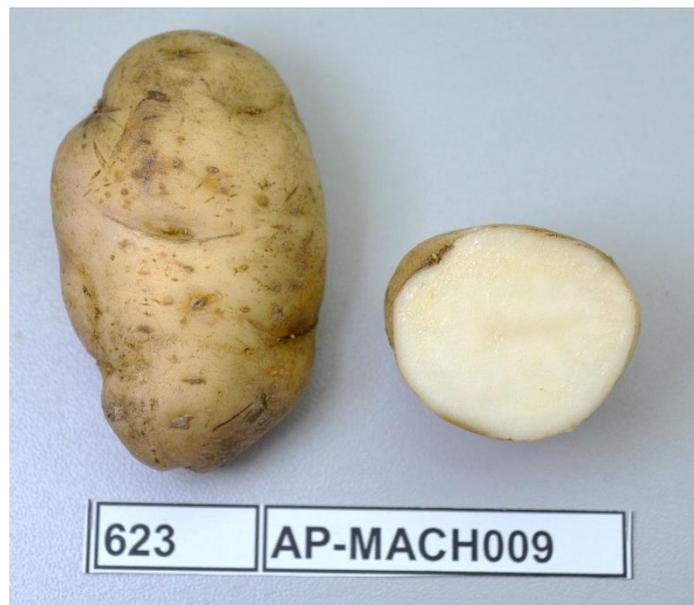
**Accesión 552: Puka linli**



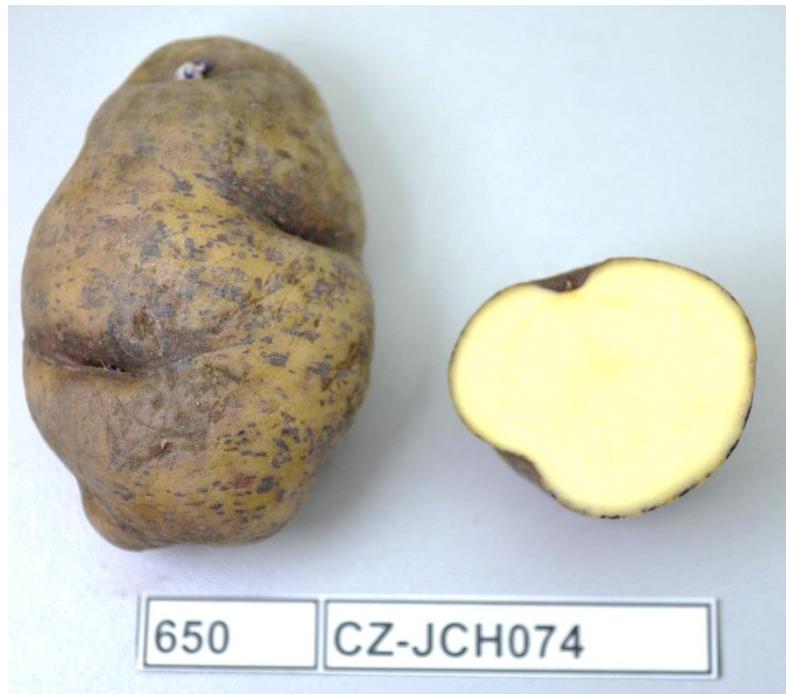
**Accesión 586: Puka lomo**



**Accesión 623: Roque**



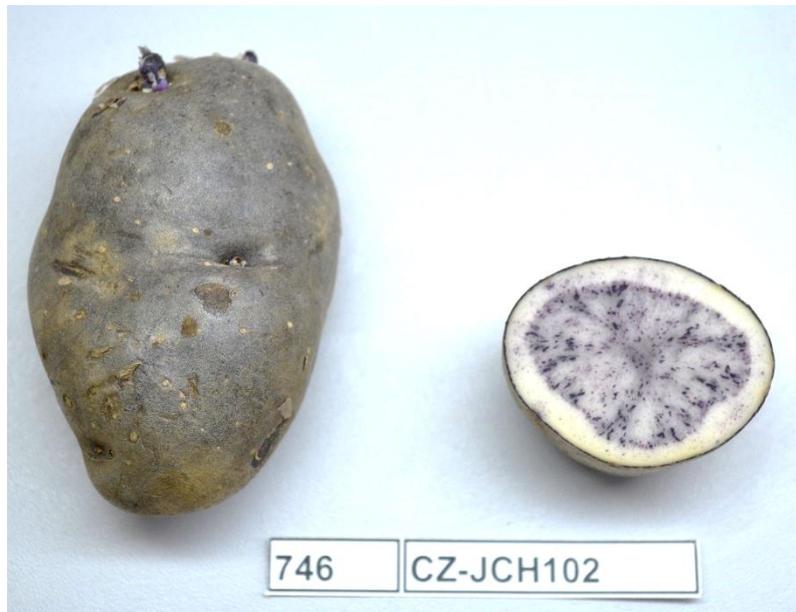
**Accesión 650: Socco kuchiaca**



**Accesión 699: Wencos**



**Accesión 746: Yana maktillo**



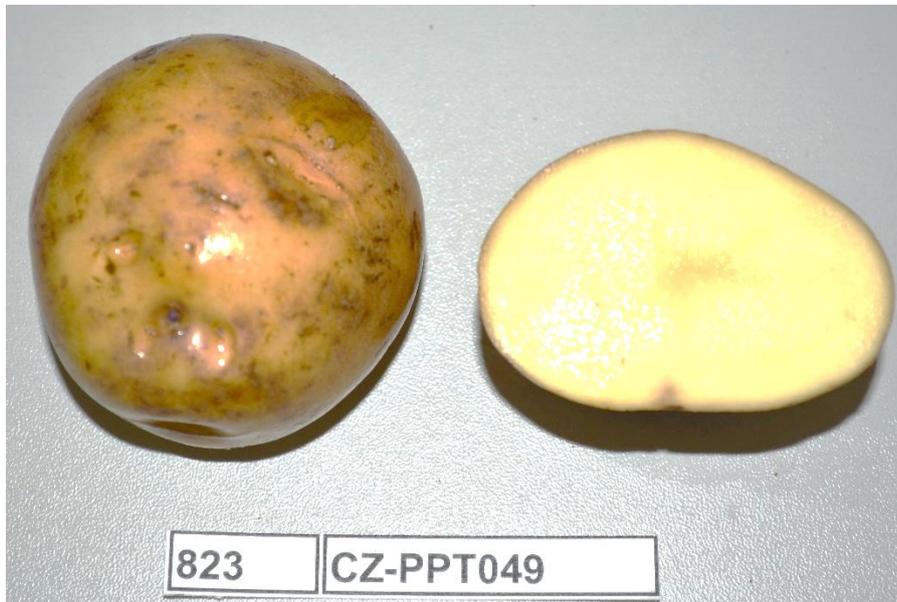
**Accesión 753: Yana millma**



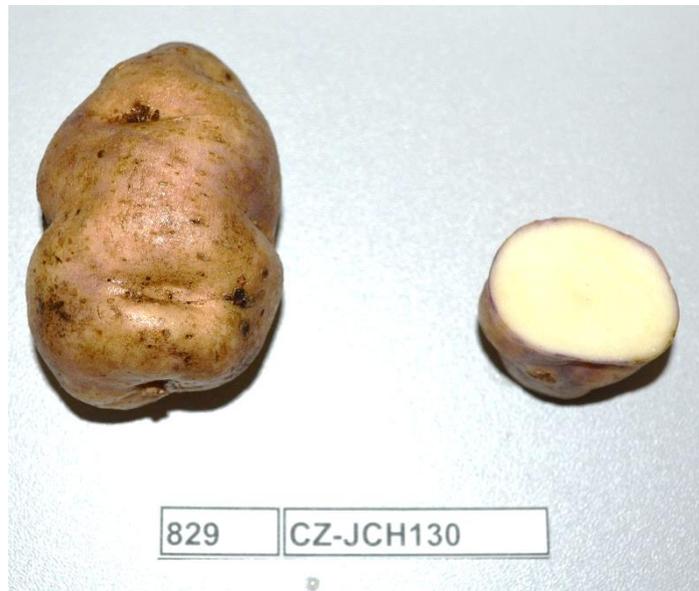
**Accesión 756:** Yana muro waman uma



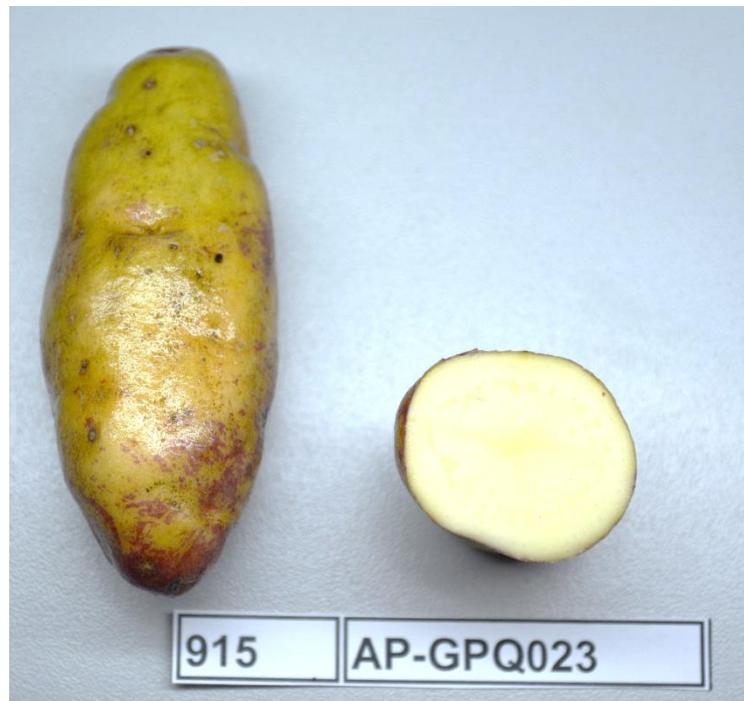
**Accesión 823A:** Yuraq k'usi



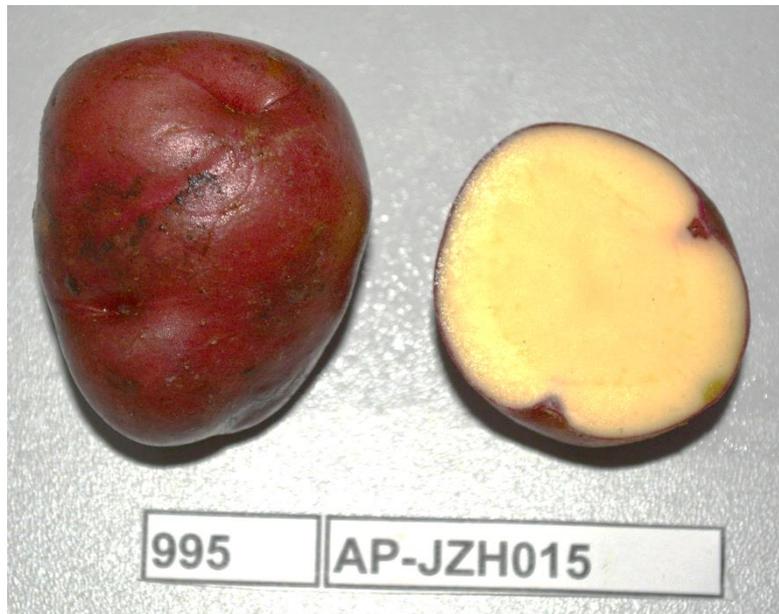
**Accesión 829:** Yuraq molle wincco



**Accesión 915:** Pasña suytu



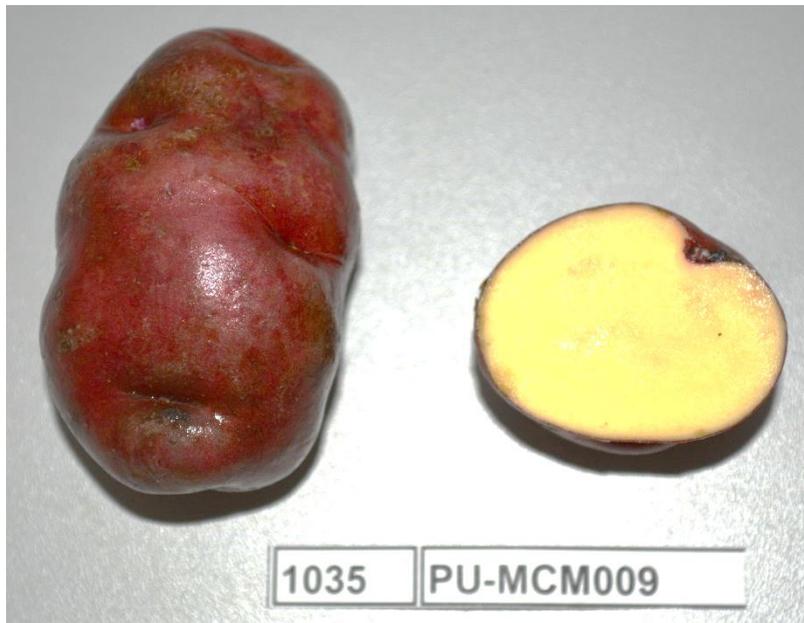
**Accesión 995: Wuayro**



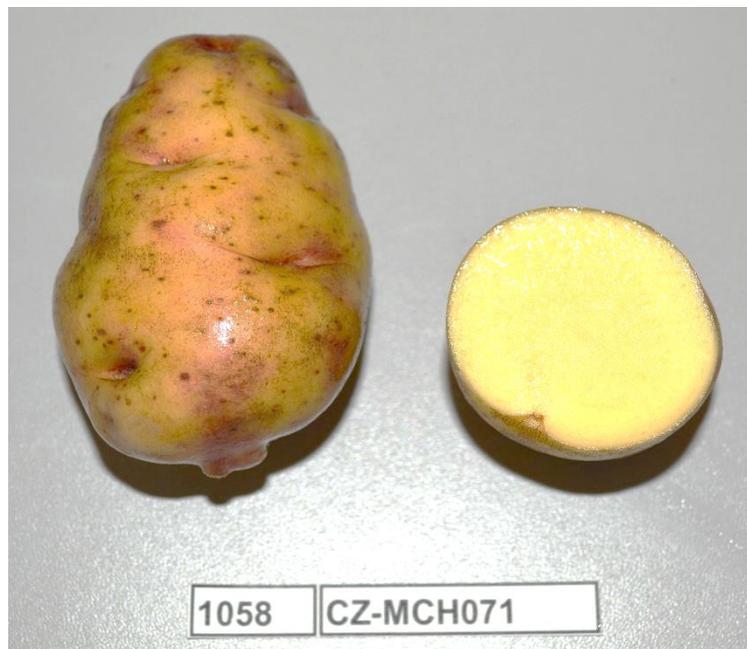
**Accesión 1014: Yana llunchu waqachi**



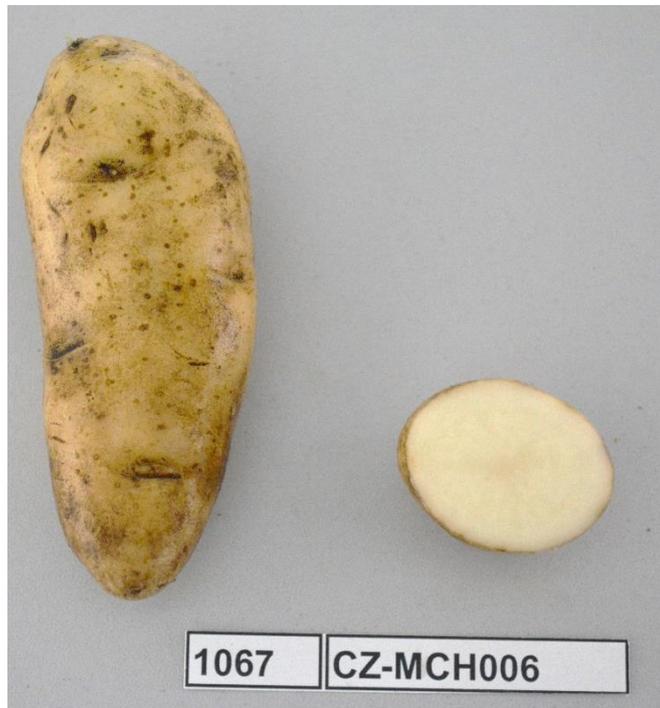
**Accesión 1035: Yana wayro**



**Accesión 1058: Yuraq wayro**



**Accesión 1067: Azul kkaya**



**Accesión 1096: Waña**

