



## Tolerancia de papas nativas (*Solanum* spp.) a heladas en el contexto de cambio climático

## Tolerance of native potatoes (*Solanum* spp.) to frost in the context of climate change

Doris Marmolejo Gutarra<sup>1,\*</sup>; Jerson Eleazar Ruiz Velásquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro del Perú. El Mantaro, km 34 carretera central. Jauja, Perú.

<sup>2</sup> Ministerio de Agricultura y Riego. Junín. Perú.

Received January 27, 2018. Accepted September 4, 2018.

### Resumen

Teniendo por objetivo identificar variedades de papas nativas que presenten tolerancia a heladas se realizó investigación en tres localidades de sierra central del Perú: Pahuay y Paltarumi (Pariahuanca), Huancayo, y Huayllacancha (Yanacancha), Chupaca, Junín. La población conformada por 10 variedades fue instalada mediante diseño de bloques completamente randomizados. Se evaluaron caracteres morfológicos y severidad de helada. Los resultados muestran que las variedades que presentaron tolerancia a heladas en las tres localidades fueron Yana huancuy (*Solanum chaucha*), Chaulina (*S. phureja*), Huamantanga azul (*S. chaucha*), Camotillo y Peruanita (*S. goniocalyx*), las cuales presentaron dos capas de empalizadas del parénquima foliar, hojas muy gruesas con relieve áspero y tallo morado. En número de estomas sobresalieron Yana huancuy (Pahuay), Chaulina (Paltarumi), Chaulina (Yanacancha) y Chaulina (Combinado) con 7,25; 7,29; 7,18 y 7,22 estomas por campo óptico, respectivamente. En porcentaje de severidad del daño por helada, las de menor daño fueron Chaulina (Pahuay) y Camotillo (Paltarumi) con 14,81 y 14,57%, respectivamente. Se concluye que, las variedades tolerantes a heladas presentaron dos capas empalizadas del parénquima y mayor grosor con relieve áspero en hojas, mayor número de estomas y tallos con pigmentación morada; estos caracteres morfológicos considerar en la mejora genética de la papa.

**Palabras clave:** caracteres morfológicos; tolerancia a heladas.

### Abstract

With the objective of identifying varieties of native potatoes with tolerance to frost, research was carried out in three localities of the central highlands of Peru: Pahuay and Paltarumi (Pariahuanca), Huancayo, and Huayllacancha (Yanacancha), Chupaca, Junín. The population consisting of 10 varieties was installed by completely randomized block design. Morphological characters and frost severity were evaluated. The results show that the varieties that showed tolerance to frost in the three localities were Yana huancuy (*Solanum chaucha*), Chaulina (*S. phureja*), Huamantanga blue (*S. chaucha*), Camotillo and Peruanita (*S. goniocalyx*), which presented two layers of palisades of leaf parenchyma, very thick leaves with rough relief and purple stem. In number of stomata, Yana huancuy (Pahuay), Chaulina (Paltarumi), Chaulina (Yanacancha) and Chaulina (Combined) stood out with 7.25; 7.29; 7.18 and 7.22 stomata per optical field, respectively. In percentage of severity of the damage by frost, those of smaller damage were Chaulina (Pahuay) and Camotillo (Paltarumi) with 14.81 and 14.57%, respectively. It is concluded that the frost tolerant varieties had two palisade layers of the parenchyma and greater thickness with rough relief in leaves, greater number of stomata and stems with purple pigmentation; these morphological characters consider in the genetic improvement of the potato.

**Keywords:** morphological characters; tolerance to frost.

\* Corresponding author  
E-mail: [dorisgutarra@gmail.com](mailto:dorisgutarra@gmail.com) (D. Marmolejo).

## 1. Introducción

Las actividades afectadas por el cambio climático se extienden a diversos ámbitos productivos y económicos, el sector agropecuario, hídrico, la biodiversidad y bosques, el turismo, salud de la población, entre otros. Con riesgos desde la disminución de la producción y calidad de los alimentos, ingresos más bajos y alza de precios, debido a las sequías y heladas en muchas regiones (Carrasco, 2016).

El cambio climático, afecta todas las áreas del quehacer de la humanidad, entre estos principalmente a la seguridad alimentaria de las zonas vulnerables. La mayoría de fenómenos, sucesos o eventos suscitados como consecuencia del cambio climático afectan directa y severamente a los componentes de la seguridad alimentaria de los actores locales del distrito de Pariahuanca y en menor magnitud a los componentes uso biológico y estabilidad respectivamente (Zarate y Miranda, 2016).

Las heladas son fenómenos atmosféricos que ocurren por la disminución de la nubosidad en los Andes y se produce cuando la temperatura ambiental disminuye más allá de los cero grados centígrados (Caminada y Rosales, 2015).

El daño directo por helada se produce cuando se forman cristales de hielo dentro del protoplasma de las células (congelación intracelular), mientras que el daño indirecto ocurre cuando se forma hielo dentro de las plantas, pero fuera de las células (congelación extracelular). Lo que daña realmente a las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo (FAO, 2018). Las bajas temperaturas pueden inducir la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) causando daño oxidativo, las cuales pueden ser el resultado de fallas en la transferencia de electrones durante la fotosíntesis y/o a daños en el fotosistema II, con la consecuente disminución de la eficiencia fotosintética (Chang *et al.*, 2014).

La incidencia de las heladas tiene impactos significativos en la producción agrícola a nivel mundial, no sólo causa pérdidas en los rendimientos de la mayoría de los cultivos agrícolas también limita la distribución geográfica en importantes especies cultivadas. 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, causando daños visibles a nivel foliar y afectando tanto el rendimiento como la calidad de los tubérculos. Mientras, en zonas de clima templado las heladas pueden afectar el

cultivo de papa en primavera e inicios del otoño, en regiones Andinas las heladas pueden ocurrir en cualquier etapa del desarrollo del cultivo, disminuyendo así los rendimientos en diferentes intensidades (Pino, 2015).

Los científicos del Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad de California y la Universidad Católica de Lovaina-Bélgica, reportan que la siembra en mezcla simultánea de variedades nativas y mejoradas reduce el impacto de los efectos de las heladas, la vulnerabilidad frente al estrés ambiental y el ataque de plagas y enfermedades, mientras mantiene el rendimiento (Mosquera *et al.*, 2014). Otras medidas para enfrentar las heladas son reintroducir semillas de calidad a los agricultores y desarrollar genotipos con un inicio temprano de tuberización y una tasa precoz de agrupamiento. En su análisis, los investigadores usaron dos especies de papas nativas resistentes a heladas *Solanum juzepczukii* variedad Luki y *Solanum ajanhuiri* variedad Ajanhuiri, y dos variedades comerciales susceptibles a heladas (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* var. Alpha y *S. tuberosum* ssp. *andigenum* variedad Gendarme (Martínez, 2015).

El Perú centro de origen de la papa nativa, recurso natural de la agrobiodiversidad conservado *in situ* principalmente por los agricultores conservacionistas más pobres de la zona alto andinas entre los 3300 a 4300 msnm, lo utilizan mayormente para autoconsumo e intercambio o trueque entre comunidades cercanas. Las papas nativas son producto de la domesticación, selección y conservación de comunidades indígenas y campesinas de los andes, quienes las cultivaban por su resistencia a plagas y enfermedades y por su facilidad de adaptación y tolerancia a estrés abiótico.

La papa nativa constituye uno de los cultivos andinos de importancia tanto para la agricultura como en la alimentación de las familias campesinas (Peceros, 2017). Presenta tubérculos de diversas formas, sabores, textura y múltiples colores, gracias al cuidado y dedicación del agricultor alto andino que ha preservado por muchos años una extraordinaria diversidad (Flores, 2017).

La diversidad genética de la papa está amenazada constantemente debido a cambios climáticos, trastornos sociales y al desarrollo comercial de las variedades modernas. Para enfrentar a las heladas seleccionar variedades nativas con características de evasión, a fin de incrementar su producción y así mejorar el

nivel socioeconómico de las comunidades marginales alto andinas.

El presente estudio tuvo como objetivo: Identificar variedades de papa nativa con tolerancia a heladas mediante la caracterización morfológica.

## 2. Materiales y métodos

La presente investigación fue desarrollada en tres localidades: comunidades de Pahuay y Paltarumi (Pariahuanca, S11° 59' 30.7" y W 74° 56' 35.7" a una altura de 3874 a 3976 msnm), provincia de Huancayo, y en la comunidad de Huayllacancha (Yanacancha, S 12° 11' 22" y W 75° 23' 09" a una altura de 3813 msnm), provincia de Chupaca, departamento de Junín, Perú.

Los anexos de Pahuay y Paltarumi, presentan un clima húmedo, con temperaturas que oscilan entre 4 C y 16 C, una precipitación media anual de 1108,7 mm, con riesgos climáticos principales de heladas y granizadas. El distrito de Yanacancha presenta un clima templado seco, con temperaturas que oscilan entre 3 C y 18,5 C, precipitación media anual de 726,6 mm. Se utilizaron 10 variedades de papa nativa provenientes del Banco de Germoplasma del INIA Santa Ana-Huancayo (Tabla 1).

**Tabla 1**  
Variedades de papa nativa, especie y ploidia

Variedades nativas	Especie	Ploidia
Puma maqui	<i>Solanum tuberosum</i> ssp. <i>andigena</i>	2n = 4X
Piña negra	<i>Solanum chaucha</i>	2n = 3X
Peruanita	<i>Solanum goniocalyx</i>	2n = 2X
Yana huancuy	<i>Solanum chaucha</i>	2n = 3X
Amarillo sonco	<i>Solanum goniocalyx</i>	2n = 2X
Camotillo	<i>Solanum goniocalyx</i>	2n = 2X
Ichipra	<i>Solanum stenotomum</i>	2n = 2X
Huamantanga azul	<i>Solanum chaucha</i>	2n = 3X
Chaulina	<i>Solanum phureja</i>	2n = 2X

En cada localidad el experimento fue instalado en terrenos de la comunidad en un área de 367 m<sup>2</sup>, donde la plantación de los 10 tratamientos, distribuidos en el campo experimental bajo el diseño de bloques completamente randomizado, con tres repeticiones en las tres localidades, utilizando una labranza mínima, que consistió en levantar un terrón de suelo con la ayuda de la chaquitacla que es una herramienta ancestral y posteriormente se colocó un tubérculo en cada pocito y se cubrió con el terrón. Para el aporte también fue utilizada la chaquitacla cuando las plantas tenían una altura de 20 a 25 cm de altura.

Las características del experimento pro cada localidad consistieron en surcos de 2 m de largo, distancia entre plantas 0,40 m, distancia entre surcos 0,90 m; área por parcela 9 m<sup>2</sup>, distancia entre tubérculos 0,40 m y un tubérculo por pozo. El área

experimental por localidad fue de 367 m<sup>2</sup>. Al ser tres localidades en estudio, se tuvieron tres áreas de cultivo, haciendo un total en las tres localidades 1101 m<sup>2</sup>.

Las 10 variedades de papa nativa, se comportaron como semiprecoces y tardías; es decir, el período vegetativo vario entre 180 a 210 días de la plantación de los tubérculos a la cosecha. Se fertilizó en forma manual, según las recomendaciones del análisis químico de suelo de cada localidad. En la primera localidad (Pahuay) 100-180-160 de NPK, en la segunda localidad (Paltarumi) 180-200-160 de NPK, y en la tercera localidad (Yanacancha) 150-160-160 de NPK. Se utilizó las siguientes fuentes: Urea (46% de N), Fosfato diamónico (18% N y 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y Cloruro de potasio (60% de K<sub>2</sub>O).

La evaluación de la parte vegetativa se efectuó en la etapa de floración; es decir, entre los 120 a 150 días por presentar diferencias en el período vegetativo las variedades de papa nativa. La etapa de senescencia se evaluó contando los días desde la plantación hasta que el 50% de las plantas presentan 50% del tejido foliar de color café, en este caso fue entre los 190 días a 210 días.

Las variables evaluadas fueron: Hábito de crecimiento, color de tallo, número de capas empalizada del parénquima foliar, grosor de hoja, relieve de hoja, área foliar, porcentaje de severidad del daño por heladas, número de estomas por campo óptico y peso de tubérculos por parcela. La cosecha se realizó en forma manual cuando las plantas alcanzaron el estado de senescencia.

Para las evaluaciones se utilizó la lista de caracteres "Descriptors For Sweet Potato", propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP), Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación Relativo a los Vegetales (AVRDC) y el Centro Internacional de los Recursos Fitogenéticos (IBPGR), que incluye más de 70 caracteres (Huamán, 1988). Donde cada descriptor o carácter presentaron diferentes estados con sus respectivas codificaciones. Para el hábito de crecimiento se evaluó cuando la planta se encontraba en plena floración, comparando con la figura guía del descriptor en base a escalas (1 erecto, 2 semi erecto, 3 decumbente, 4 postrado, 5 semi arrosado y 6 arrosado); de igual manera se procedió con el color del tallo (1 verde, 2 verde con pocas manchas, 3 verde con muchas manchas, 4 pigmentado con abundante verde, 5 pigmentado con poco verde, 5 rojizo y 6 morado); grosor de la hoja (1 muy delgado, 2 delgado, 3 mode-

radamente grueso, 4 grueso y 5 muy grueso); relieve de la hoja ( 1 muy ásperas, 2 ásperas, 3 lisas y 4 muy lisas); moderadamente grueso, 4 grueso y 5 muy grueso); relieve de la hoja (1 muy ásperas, 2 ásperas, 3 lisas y 4 muy lisas) (Huaman, 1991).

Para la determinación del número de capas de empalizada del parénquima foliar, se tomaron muestras de hojas y se hicieron cortes transversales para obtener tejido foliar, se colocaron las muestras en el porta objeto adicionando una gota de agua destilada o azul de metileno para la tinción de las células, las muestras fijadas fueron observadas en un microscopio binocular de 40x de aumento. Se realizaron diez lecturas por cada variedad en estudio.

Para determinación el número de estomas por campo óptico, se tomaron foliolos de la planta de cada variedad, se realizó la separación de la epidermis del envés de la hoja y el recuento del número de estomas se realizó en un microscopio binocular de 40x de aumento, realizando 5 lecturas por campo óptico y 3 lecturas por variedad.

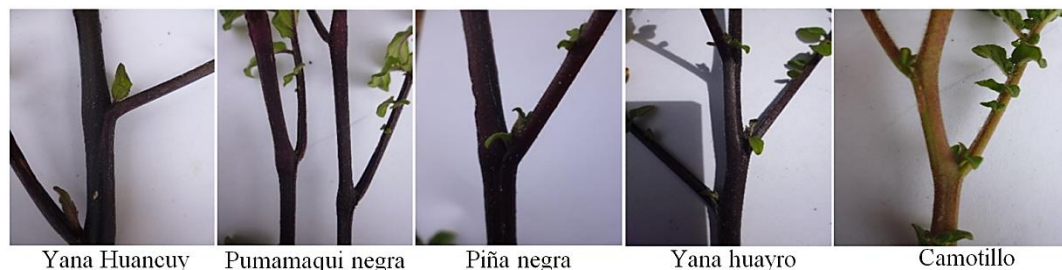
El análisis de varianza y la comparación de medias fueron realizadas utilizando el programa informático para procesamiento de datos para cada una de las variables evaluadas (Hallahan, 1995). El análisis de varianza respectivo a un nivel de 0,5% de probabilidad para cada localidad y un análisis combinado de las tres localidades y se utilizó la prueba de significación de los promedios según Tukey ( $P = 0,5$ ) para cada parámetro evaluado. Asimismo, se utilizó la distribución de frecuencias a fin de presentar en porcentajes los estados del descriptor de caracteres evaluados.

### 3. Resultados y discusión

Mediante la utilización de la lista de descriptores de papa (CIP) para la caracterización morfológica de las variedades de papa nativa en estudio, se encontró que

para el hábito de crecimiento 90% del material genético fue semi-erecto (Ichipra, Yana huancuy, Chaulina, Pumamaqui negra, Piña negra, Huamantanga azul, Yana huayro, Peruanita y Camotillo). Los resultados indican que el hábito de crecimiento semi-erecto podría ser considerado como un mecanismo de evasión a las heladas, por presentar tallos cortos, permitiendo que las plantas estuvieran más cercanas al suelo, con una menor exposición del follaje al efecto de las heladas. Condori *et al.* (2014) argumenta que, la planta al atrapar el calor del suelo, adquiere tolerancia a las heladas. El 10% de las variedades (Amarillo sonco) de hábito de crecimiento erecto, mostraron susceptibilidad a las heladas.

Para el color del tallo, según los estados de dicho descriptor y analizado estadísticamente mediante la distribución de frecuencias; se observó que 40% de las variedades (Yana huancuy, Pumamaqui negra, Piña negra, Yana huayro) presentaron color morado, resultando ser más resistentes a las heladas, debido a tener mayor capacidad de calor adquirido durante el día, retrasando así la caída de temperatura respecto a la temperatura del aire. Estos resultados confirman lo reportado por Choque *et al.* (2016) quienes mencionan que las variedades más tolerantes a las heladas son aquellas que tienen los tallos con pigmentación morada. Se observó que 10% de color verde con muchas manchas (Ichipra) y 40% pigmentado con poco verde (Chaulina, Huamantanga azul, Peruanita, y Camotillo), también presentaron resistencia a heladas, en comparación al 10% de las variedades de color verde con pocas manchas (Amarillo soncco) que mostró susceptibilidad a las heladas (Figura 1). Pino (2015) concluye que, algunas especies de papa que presentan tolerancia a las bajas de temperatura están asociadas a la presencia de pigmentos antocianicos con propiedades farmacológicas y terapéuticas tanto en el tallo y las hojas.



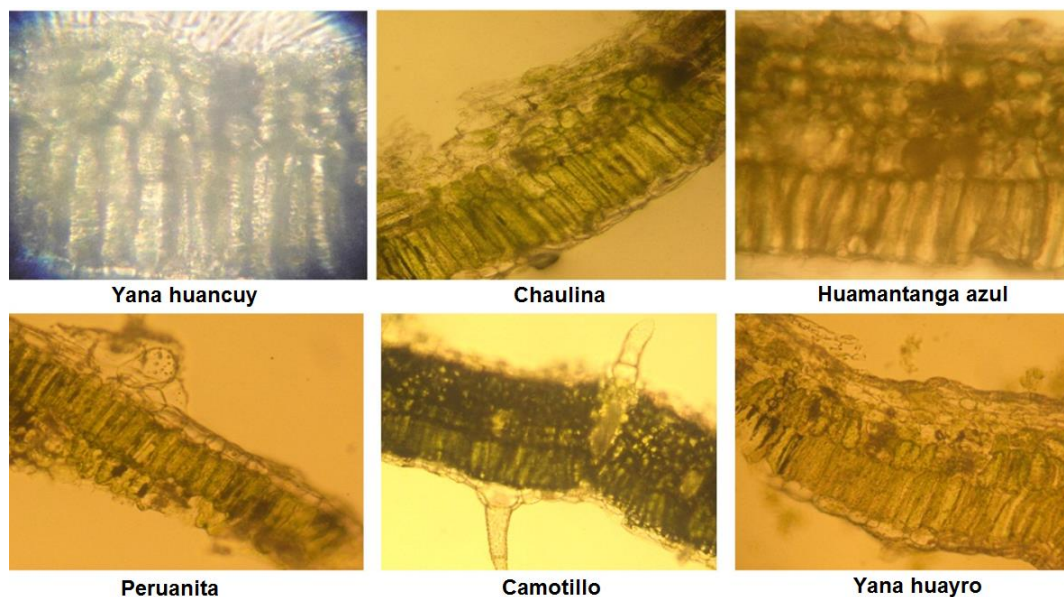
**Figura 1.** Tallos de las variedades nativas de papa: Yana huancuy, Puma maqui, Piña negra, Yana huayro; presentan mayor tolerancia a heladas por la pigmentación del color morado. La variedad Camotillo, con tallo de color verde claro mostró susceptibilidad a heladas.

Para el carácter número de capas de empalizada del parénquima foliar, se observó que, 60% de las variedades nativas (Yana huancuy, Chaulina, Yana huayro, Peruanita, Huamantanga azul, y Camotillo) presentaron dos capas en empalizada, mostrando mayor resistencia a las heladas. El 40% de las variedades (Ichipra, Pumamaqui negra, Amarillo soncco, y Piña negra) presentaron solo una capa empalizada y resultaron con mayor susceptibilidad a heladas por presentar mayor daño en el follaje por las heladas (Figura 2). Lo cual confirma lo reportado por Estrada (2000) quien menciona que la tolerancia a las heladas en varias especies tuberíferas se debe a factores morfológicos como la presencia de dos o más capas empalizadas en el tejido parenquimatoso de las hojas; por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos se considera este carácter como un mecanismo de evasión a las heladas. Choque *et al.* (2016) reporta que, las plantas xerófitas tienen el tejido de empalizada mucho más desarrollado que el tejido esponjoso y durante la helada sufren un fuerte proceso de deshidratación, y que existe similitud en la morfología de plantas resistentes a la sequía y plantas resistentes a las heladas.

Respecto al grosor de las hojas se observó 30% de las variedades en estudio (Yana huancuy, Chaulina, Camotillo) presentaron hojas muy gruesas resultando tolerantes a heladas y otro 30% (Pumamaqui negra, Huamantanga azul, y Yana huayro) pre-

sentaron hojas gruesas resultando susceptibles a heladas. La evaluación en campo mostró que las variedades de papas nativas que presentaron las hojas más gruesas resultaron ser más tolerantes a las heladas. Lo que confirma lo reportado por Pino (2015), que los cambios en la ultra estructura de la hoja como mayor grosor de la hoja y particularmente con doble empalizada en muchas especies de papas son más tolerantes a bajas temperaturas. Choque *et al.* (2016), argumentan que hay correlación entre la triple capa de empalizada en las células del parénquima y la resistencia a heladas en la especie *S. juzepczukii* y en el *S. stenotomum* se observó una doble empalizada en el parénquima mostrando menor porcentaje de daño por helada.

Para el relieve de hojas, 40% de las variedades en estudio (Ichipra, Amarilla soncco, Piña negra, y Peruanita) presentaron hojas lisas; mientras que 60 % (Yana huancuy, Chaulina, Pumamaqui negra, Huamantanga azul, Yana huayro, Camotillo) presentaron hojas ásperas. La evaluación en campo mostró que las variedades que presentaron hojas ásperas son más tolerantes a las heladas en comparación a aquellas que presentaron hojas lisas. El relieve de hojas ásperas podría ser un mecanismo de evasión a heladas; ya que, en general las hojas ásperas poseen excrescencias de origen epidérmico como pelos, papilas y tricomas (Choque *et al.*, 2016).



**Figura 2.** Doble capa de células de empalizada del parénquima foliar que presentaron las variedades nativas: Yana huayro, chaulina, Yana huancuy, Chaulina, Huamantanga azul, Peruanita, Camotillo y Yana Huayro, las mismas que mostraron tolerancia a heladas.

**Tabla 2**

Prueba de significación combinada del promedio del número de estomas por campo óptico, área foliar y porcentaje severidad del daño por heladas de las tres localidades, según Tukey ( $p=0,05$ )

Variedades papa nativas	Promedio	Signif.	Variedades papa nativa	Promedio	Signif.	Variedades papa nativa	Promedio	Signif.
Chaulina	7,22	a	Chaulina	0,56	a	Amarillo sonco	16,09	a
Yana huancuy	7,21	a	Camotillo	0,55	a b	Ichpra	15,89	a
Pumamaqui negra	7,16	a b	Yana huancuy	0,55	a b	Huamantanga azul	15,83	a
Camotillo	7,15	a b	Pumamaqui negra	0,55	b	Piña negra	15,81	a
Yana huayro	6,95	a b	Huamantanga azul	0,53	c	Peruanita	15,71	a
Ichpra	6,93	b c d	Yana huayro	0,53	c	Pumamaqui negra	15,22	b
Peruanita	6,68	c d	Peruanita	0,51	d	Yana huayro	15,13	b c
Huamantanga azu	6,66	d	Piña negra	0,51	d	Yana huancuy	14,80	c d
Piña negra	6,66	d e	Amarillo sonco	0,49	e	Camotillo	14,65	c d
Amarillo sonco	6,39	e	Ichpra	0,47	f	Chaulina	14,60	d

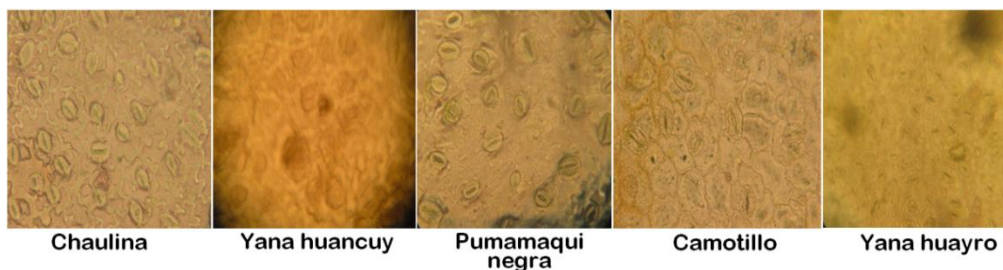
ALS (T)  $0.05 = 0,273$ ALS (T)  $0.05 = 0,012$ ALS (T)  $0.05 = 0.407$ 

Respecto al número de estomas en hojas por campo óptico en las tres localidades; se observa que, presentan mayor cantidad de estomas por campo óptico las variedades: Chaulina, Yana huancuy, Pumamaqui negra, Camotillo, y Yana huayro con promedios de 7,22; 7,21; 7,16; 7,15 y 6,95 número de estomas por campo óptico, respectivamente, no presentando significación estadística entre ellos (Tabla 2 y Figura 3). La variedad Amarillo soncco que ocupa el último lugar con un promedio de 6,39 estomas por campo óptico, difiere estadísticamente de las demás variedades en estudio. De la evaluación realizada se da a conocer que las variedades que presentaron mayor número de estomas por campo óptico son aquellas que presentaron mayor tolerancia a las heladas en comparación a las que presentaron menor número de estomas por campo óptico. La cantidad y distribución de estomas favorece a la homeostasis de nutrientes, manteniendo una condición interna estable compensando los cambios en su entorno. Choque *et al.* (2016) reportan que la diferencia en el número se debe a que los estomas varían según el nivel de ploidía de las variedades. En la prueba de significación combinada del área foliar de las tres localidades; se observa que la variedad Chaulina ocupa el primer lugar, seguido de las variedades Camotillo y Yana huancuy, donde frente al estrés ocurrido a causa de las bajas temperaturas (octubre -4,2 C, noviembre -6,7 C y diciembre -3,8 C) fueron las que mejor respondieron, no siendo afectado en

comparación a las variedades que sufrieron estrés (Tabla 2).

En la prueba de significación combinada del porcentaje de severidad del daño por heladas en las tres localidades; se observa que las variedades Chaulina, Camotillo, Yana huancuy, Yana huayro y Pumamaqui negra con promedio de 14,60; 14,65; 14,80; 15,13 y 15,22 de severidad, son aquellas que presentaron menor porcentaje de severidad de daño por heladas; es decir, tuvieron menor porcentaje de tejido foliar dañado, debido a la formación de hielo dentro del tejido de las plantas; con respecto a las variedades Amarillo soncco, Ichpra, Huamantanga azul, Piña negra, y Peruanita con promedios de 16,09; 15,88; 15,828; 15,81 y 15,70 % de severidad, presentado mayor porcentaje de tejido dañado (Tabla 2), con síntomas de hojas de coloración más oscura debido a la destrucción de las membranas celulares, posteriormente se tornaron de color marrón y presentaron un aspecto quemado de las hojas.

En la prueba de significación combinada del área foliar de las tres localidades; se observa que la variedad Chaulina ocupa el primer lugar, seguido de las variedades Camotillo y Yana huancuy, donde frente al estrés ocurrido a causa de las bajas temperaturas (octubre -4,2 C, noviembre -6,7 C y diciembre -3,8 C) fueron las que mejor respondieron, no siendo afectado en comparación a las variedades que sufrieron estrés (Tabla 2).



**Figura 3.** Variedades de papa nativa que presentaron mayor cantidad de estomas por campo óptico: Chaulina, Yana huancuy, Pumamaqui negra, Camotillo, Yana huayro.

En la prueba de significación combinada del porcentaje de severidad del daño por heladas en las tres localidades; se observa que las variedades Chaulina, Camotillo, Yana huancuy, Yana huayro y Pumamaqui negra con promedio de 14,60; 14,65; 14,80; 15,13 y 15,22 de severidad, son aquellas que presentaron menor porcentaje de severidad de daño por heladas; es decir, tuvieron menor porcentaje de tejido foliar dañado, debido a la formación de hielo dentro del tejido de las plantas; con respecto a las variedades Amarilla soncco, Ichpra, Huamantanga azul, Piña negra, y Peruanita con promedios de 16,09; 15,88; 15,828; 15,81 y 15,70% de severidad, presentaron mayor porcentaje de tejido dañado (Tabla 2), con síntomas de hojas de coloración más oscura debido a la destrucción de las membranas celulares, posteriormente se tornaron de color marrón y presentaron un aspecto quemado de las hojas.

Según la prueba de significación combinada del peso de tubérculos por planta las tres localidades; se observa que Chaulina y Yana huancuy tuvieron mayor rendimiento (0,893 y 0,788 kg/planta) comparado con las demás variedades. Además, presentaron el hábito de crecimiento semi erecto (Yana huancuy y Chaulina), color de tallo morado (Yana huancuy y Chaulina) y menor pigmentación verde (Chaulina), dos capas empalizadas del parénquima foliar (Yana huancuy y Yana huancuy), hojas muy gruesas (ambos), relieve áspero de la hoja (ambos), mayor área foliar (Chaulina 0,56 m<sup>2</sup> y Yana huancuy 0,55 m<sup>2</sup>), menor porcentaje de severidad de daño por heladas (Chaulina 14,59%, Yana huancuy 14,80%), y mayor número de estomas (Chaulina 7,23, Yana huancuy 7,21) (Tabla 2).

Para el peso de tubérculos por planta en las tres localidades; las variedades Chaulina y Yana huancuy fueron estadísticamente superiores a las demás variedades con 0,89 y 0,79 kg/planta (Tabla 3). Además, estas variedades presentaron hábito de crecimiento semi erecto, color de tallo morado, dos capas empalizadas del parénquima foliar, hojas muy gruesas, relieve áspero de la hoja, mayor área foliar, menor porcentaje de severidad de daño por heladas y mayor número de estomas.

Los caracteres morfológicos identificados para tolerancia a las heladas en variedades de papa nativa son pigmentación oscura del tallo, mayor número de estomas por campo óptico, mayor grosor y relieve áspero de las hojas, dos o más capas de empalizada en el tejido parenquimatoso de las hojas; caracteres de relevancia para calificar a una variedad con tolerancia en

programas de mejora genética. Para reducir la vulnerabilidad a cambios climáticos fortalecer la conservación *in situ* de las variedades con tolerancia para la seguridad alimentaria de las zonas alto andina.

**Tabla 3**

Prueba de significación combinada de los promedios del peso de tubérculos por planta en las tres localidades (Tukey,  $p = 0,05$ ).

Variedades papa nativa	Peso promedio de tubérculo por planta (kg)	Significación
Chaulina	0,89	a
Yana huancuy	0,79	b
Camotillo	0,77	c
Pumamaqui negra	0,76	c
Huamantanga azul	0,73	c
Piña negra	0,73	c
Yana huayro	0,71	c
Peruanita	0,69	c
Ichpra	0,69	c
Amarillo soncco	0,67	c

ALS (T)  $_{0,05} = 0,1199$

#### 4. Conclusiones

Se identificó mediante la caracterización morfológica y severidad de helada variedades nativas cultivadas en tres localidades alto andinas entre 3464 a 3998 msnm, con grandes posibilidades de resistir temperaturas bajo cero a 10 °C; además, con valor comercial y buena contribución a la seguridad alimentaria y desarrollo sostenible para los agricultores de las comunidades campesinas y así mejorar su nivel de vida. Las variedades con tolerancia son de gran valor genético, con ellas formar poblaciones con mayor frecuencia de genes que codifican los caracteres de evasión a heladas para utilizarlas en programas de cruzamientos interespecíficos. Realizar análisis molecular a fin de estimar la heredabilidad de los caracteres de evasión a heladas.

#### Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado conjuntamente con el Instituto Nacional de Investigación Agraria-INIA Santa Ana de la Dirección de Investigación Agraria – Sub dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología – SUDIRGEB, y la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, dentro del marco del Proyecto “Conservación *in situ* de los cultivos nativos y sus parientes silvestres”.

#### Referencias Bibliográficas

- Caminada, R.; Rosales, S. 2015. El eterno retorno del fenómeno de las heladas en el Perú: ¿Existen adecuadas políticas para combatir dicho fenómeno en el Perú? Disponible en: <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/1784?mode=full>

- Carrasco, Ch. 2016. Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997-2014. *Comunicación* 7(2): jul/dic 2016.
- Condori, B.; Hijmans, J.; Ledent, F.; Quiroz, R. 2014. Managing Potato Biodiversity to Cope with Frost Risk in the High Andes: A Modeling Perspective. *PLoS ONE* 9(1): e81510.
- Chang, D.; Sohn, H.; Cho, J.; Im, J.; Jim, Y.; Do, G.; Kim, S.; Cho, H.; Lee, Y. 2014: Frosting and frost Damage of Potato Plants: A case Study on growth recovery, yield response, and quality changes. *Potato Research* 57(2): 99-110.
- Choque, E.; Espinoza, R.; Cadima, X.; Zeballos, J. Gabriel, J. 2016. Resistencia a helada en germoplasma de papa nativa de Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa* 14(1): 24-32.
- Estrada, R. 2000. Biodiversidad y el Mejoramiento Genético de la Papa. Bill Hardy, Enma Martínez (eds). La Paz, Bolivia. pp. 11-13. 372 pp. <https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/14942259/v14n1p24.pdf>
- Flores, C. 2017. Análisis de los factores que inciden en la baja productividad de 5 variedades de papa nativa en la provincia de Cotabambas, región Apurímac. Tesis título profesional. Universidad Nacional de San Agustín. 118 pp.
- FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. El daño producido por las heladas: fisiología y temperatura crítica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf>
- Hallahan, C. 1995. Data Analysis Using SAS. *Sociological Methods & Research* 23(3): 373-391.
- Huamán, Z. 1988. Descriptors for the characterization and evaluation of sweet potato genetic Resources. pp. 331-335. In: Exploration, Maintenance and utilization, of sweet potato genetic Resources, Report of the first sweet potato planning Conference, february 1987, Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa. 369 pp.
- Huaman, Z. 1991. Descriptors for Sweet Potato. CIP/AVRDC/IBPGR. 52 pp.
- Martínez, C. 2015. Conservación de agrobiodiversidad andina: El caso de las papas nativas en Colombia. Tesis de Maestría en Conservación y Uso de la Biodiversidad. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 37 pp.
- Mosquera, T.; Yogendra, K.; Pushpa, D.; Mosa, K.; Kushalappa, A.; Murphy, A. 2014. Quantitative resistance in potato leaves to late blight associated with induced hydroxycinnamic acid amides. *Functional & Integrative Genomics* 14(2): 285 - 298.
- Peceros, C. 2017. Análisis de las restricciones que influyen en la competitividad de la cadena productiva de papas nativas (*Solanum tuberosum*) en la región Apurímac. Tesis profesional de ingeniero agroindustrial. Andahuaylas – Apurímac – Perú. 118 pp.
- Pino, M. 2015. Buscando tolerancia a heladas en plantas silvestres de papa para crear nuevas variedades. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Platina, Santiago, Chile. CP: 8831314. Disponible en: <https://medium.com/@redepapa/buscando-tolerancia-a-heladas-en-plantas-silvestres-de-papa-para-crear-nuevas-variedades-6b80b7886d01>
- Zarate, M.; Miranda, Z. 2016. Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(1): 71-82.