



FONDO REGIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA
SECRETARÍA TÉCNICA-ADMINISTRATIVA

Informe Final de Proyecto

FTG-8037

2008

Utilización de la diversidad genética de papa para afrontar la adaptación al cambio climático

Agosto 2013



ORGANISMO EJECUTOR

Fundación PROINPA
Antonio Gandarillas
Gerente General
Email: a.gandarillas@proinpa.org
Teléfono 591-4-4319595 / Fax 591-4-4319600
Dirección postal: Av. Meneces s/n km 4, Zona El Paso, Quillacollo
Cochabamba, Bolivia

INTEGRANTES DEL CONSORCIO

Organismo 1: Fundación PROINPA

Nombre y Apellido (Líder del proyecto): Ximena Cadima
Cargo: Coordinadora Área Recursos Genéticos
Email: x.cadima@proinpa.org
Tel. directo: 591-4-4319595 Int. 134
Fax: 591-4-4319600
Dirección: Av. Meneces s/n, Km 4, zona El Paso, Cochabamba, Bolivia

Organismo 2: Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA

Nombre y Apellido (Coordinadora del proyecto en el INIA): Carolina Girón Aguilar
Cargo: Investigador en Recursos Genéticos
Email: carolgi65@yahoo.com.ar; rgiron@inia.gob.pe
Tel.: 51 064 246206
Fax: 51 1 3492600 Anexo 314
Dirección: Fundo Santa Ana, Anexo Hualahoyo, El Tambo, Huancayo, Perú

Organismo 3: Centro Internacional de la Papa - CIP

Nombre y Apellido (Coordinador del proyecto en el CIP):
Periodo Junio 2010 – Diciembre 2011: David Tay
Periodo Enero-Octubre 2012: Janny Van Beem
Periodo Noviembre 2012 – Julio 2013: Dave Ellis

Cargo: Líder del Banco de Germoplasma del CIP
Email: d.ellis@cgiar.org
Tel.: (51 1) 3496017
Fax: (51 1) 317 5326
Dirección: Av. La Molina 1895, La Molina, Lima 12, Peru.

Investigadores CIP :

Rene Gomez (r.gomez@cgiar.org)
Alberto Salas (CIP-Genebank1@cgiar.org)
Ana Panta (a.panta@cgiar.org)

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	8
METODOLOGÍA UTILIZADA Y ACTIVIDADES REALIZADAS	8
RESULTADOS	9
COMPONENTE 1.	
INVESTIGACIÓN DE LA PLASTICIDAD FENOTÍPICA DE LA PAPA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS (<i>EX SITU</i>).....	10
<i>Identificación de variedades tolerantes a estrés hídrico in vitro e invernadero en el CIP</i>	<i>11</i>
<i>Identificación de materiales tolerantes a estrés hídrico por sequía mediante evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes en Bolivia</i>	<i>34</i>
<i>Identificación de materiales tolerantes a sequía y heladas por evaluaciones en condiciones de invernadero en Bolivia</i>	<i>44</i>
<i>Investigación de la plasticidad fenotípica de la papa bajo condiciones controladas (ex situ) en el INIA-Perú</i>	<i>64</i>
COMPONENTE 2.	
INVESTIGACIÓN DE LA PLASTICIDAD FENOTÍPICA DE LA PAPA BAJO CONDICIONES DE AGRICULTORES (<i>IN SITU</i>)	68
<i>Identificación y evaluación participativa, para tolerancia a sequía y heladas, de cultivares nativos y especies silvestres de papa conservados en el banco de germoplasma del CIP y comunidades locales del Perú.....</i>	<i>69</i>
<i>Identificación y evaluación de cultivares de papa nativa con tolerancia a heladas en Bolivia</i>	<i>98</i>
<i>Identificación y evaluación de cultivares de papa nativa con tolerancia a sequía en Bolivia</i>	<i>136</i>
<i>Evaluación de los efectos de cambios de las condiciones ambientales en los componentes bióticos del suelo.....</i>	<i>172</i>
<i>Identificación de alternativas tecnológicas como los bioinsumos para reducir los efectos de la sequía en campo</i>	<i>183</i>
<i>Identificación y evaluación de genotipos cultivados con tolerancia a heladas en campo por el INIA - Perú</i>	<i>192</i>

COMPONENTE 3.

MONITOREO Y ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	197
<i>Levantamiento de la percepción local sobre cambio climático en comunidades altoandinas de Bolivia</i>	<i>198</i>
<i>Elaboración de mapas de riesgo como instrumentos para la gestión de riesgos en comunidades altoandinas.....</i>	<i>205</i>
<i>Análisis participativo de los riesgos que enfrenta el sistema productivo de papa nativa en la comunidad de Paltarumi del Perú.....</i>	<i>213</i>

COMPONENTE 4.

MEJORAMIENTO GENÉTICO.....	218
<i>Integración molecular y morfológica para la formación de la Colección Núcleo de papa en Bolivia.....</i>	<i>219</i>
<i>Avances en la evaluación sobre resistencia genética a sequía en el programa de mejoramiento de papa de la Fundación PROINPA</i>	<i>231</i>
<i>Avances en el programa de mejoramiento genético de papa para estreses abióticos del INIA-Perú</i>	<i>252</i>

COMPONENTE 5.

PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEMILLA.....	259
PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEMILLA	260
<i>Evaluación de riesgos para la producción de semilla de papa: Estudio de caso sobre la situación actual de la marchitez bacteriana en Bolivia.....</i>	<i>263</i>

COMPONENTE 6.

CONSTRUCCIÓN DEL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	269
<i>Plan de adaptación al cambio climático.....</i>	<i>270</i>

COMPONENTE 7.

DIFUSIÓN Y DISEMINACIÓN.....	272
<i>Publicaciones y Presentaciones.....</i>	<i>273</i>

Resumen Ejecutivo

En la región Andina la diversidad de papas nativas ha sido utilizada por miles de años por los pobladores locales como parte de sus estrategias de sobrevivencia para hacer frente a las dificultades climáticas de las montañas. Los eventos adversos sin embargo, se han vuelto más recurrentes, severos o aleatorios en los últimos años a consecuencia de los cambios del clima, ocasionando que los agricultores tengan serios problemas para enfrentarlos. La base genética para la búsqueda de características deseables que determinen tolerancia a estreses abióticos y bióticos se encuentra en la gran diversidad de papa presente en los países de Bolivia y Perú. En este proyecto se hicieron estudios paralelos y complementarios en ambos países para encontrar pautas para que los agricultores de la región Andina continúen cultivando papa implementando medidas para hacer frente a los efectos del cambio climático.

Cultivares (cv.) nativos que fueron priorizados con comunidades en el primer año fueron evaluados en los siguientes dos años bajo condiciones de estrés. En evaluaciones *ex situ* (condiciones controladas), en Bolivia de 30 cv seleccionados por agricultores, al tercer año 5 cv. fueron identificados como potencialmente tolerantes a sequía por resultados de invernadero y por presentar correlación alta entre la resistencia a sequía y la actividad de las enzimas antioxidantes. En Perú, de 10 genotipos tolerantes a estrés hídrico en ensayos *in vitro*, 5 resultaron altamente tolerantes a sequía en invernadero.

En campo (*in situ*) se tuvieron que hacer ajustes en las metodologías de evaluación para simular las condiciones de sequía (utilizando cubiertas plásticas) y heladas (simulación mediante cortes de follaje) ante la ausencia de estos eventos en la zona Andina durante el periodo del proyecto. Bajo estas condiciones, en Bolivia los mismos materiales identificados como resistentes en invernadero y por análisis bioquímicos, también tuvieron buenos rendimientos bajo estrés hídrico por sequía (4 cv. tetraploides). Tres de esos materiales y otros 3 diploides también toleraron pérdidas de follaje (simulación de heladas), por lo que se consideran genotipos potencialmente resistentes a heladas. Resaltó el caso de un cv. diploide del grupo *stenotonum* (Puca Taka), que a pesar de presentar pérdidas significativas en rendimiento por corte de follaje y bajo sequía, sigue siendo más productivo que varios otros cultivares diploides, y otro cv diploide (Yurima) que en invernadero y laboratorio fue catalogado como susceptible, pero en campo en los tres años de evaluación a sequía tiene buen performance. En Perú, el CIP inició evaluaciones con 57 accesiones del banco de germoplasma y 9 cultivares nativos de la comunidad de Taucca (Chincheru-Cusco). Al tercer año de evaluación de estos materiales seleccionó de manera participativa 14 cv. como tolerantes a extrema sequía. El INIA inició con una inventariación de 72 cv. en la comunidad de Paltarumi del Distrito de Parihuanca del Perú y al cabo de tres años de evaluaciones en campo identificaron los 10 mejores tolerantes a heladas.

Resultados de evaluaciones de invernadero en accesiones de la colección de trabajo de Bolivia (164 accesiones), al tercer año dos genotipos fueron identificados como potencialmente resistentes a sequía y heladas, confirmando que los genes que determinan la tolerancia a sequía están de algún modo relacionados con aquellos que gobiernan la tolerancia a corte de follaje (como simulación de efecto de helada), por lo que genotipos seleccionados para sequía son también candidatos para enfrentar estrés de helada.

En Bolivia se evaluó también el uso de bioinsumos como innovación tecnológica en combinación con la resistencia genética para hacer mejor frente a los estreses abióticos. Los resultados de campo, fueron diferentes en condiciones de Cochabamba y La Paz. En Cochabamba el aporte de los bioinsumos fue significativo en ensayos de sequía, la combinación de gallinaza + micorriza contribuyó a incrementar hasta 500% más el rendimiento en cultivares diploides, y 280% en un tetraploide respecto al testigo. En La Paz, el bioinsumo estiércol + micorriza fue el mejor pero no significativo. Otro bioinsumo (vigortop) fue eficiente para ayudar a la recuperación de las plantas sometidas a corte de follaje (simulación de heladas) y a reducir pérdidas en un rango aproximado de 5 a 10% en Cochabamba, y alrededor de 20 % en La Paz.

El programa de mejoramiento de papa de Bolivia evaluó nueve familias de papa (obtenidas por cruzamientos inter específicos) por su resistencia a sequía, y 6 familias para heladas. Del material para sequía (900 genotipos), se seleccionaron 15 genotipos, y de éstos, solo dos genotipos mostraron grados de recuperación altas después de haber obtenido severidades altas. Del material para heladas (600 genotipos) se seleccionaron dos genotipos que demostraron alta resistencia a heladas. En Perú, se estableció el programa nacional de mejoramiento genético del INIA, evaluándose al menos 100 genotipos, de los cuales se encontró material promisorio para heladas (16 genotipos) y sequía (15 genotipos).

En Bolivia, no se alcanzó a producir cantidades importantes de semilla como se pretendía porque la duración del proyecto fue muy corta para este propósito, sin embargo se ha invertido en desarrollar y ampliar las capacidades de producción de semilla para cumplir con el compromiso en las siguientes gestiones agrícolas. A la conclusión del proyecto se cuenta con aprox. 160 kg de 5 de las 8 variedades seleccionadas en el proceso de

evaluación a sequía y helada. Adicionalmente se ha desarrollado un estudio sobre los riesgos de la marchitez bacteriana en la producción de papa (para semilla y para consumo) que está en franco proceso de expansión en la región Andina de Bolivia por efecto del cambio climático y que podría traspasar las fronteras hacia los otros países. El estudio es una alerta para tomar precauciones en Bolivia y en los países limítrofes. En Perú, el CIP ha distribuido semilla de los 14 cv. altamente tolerantes a sequía a las 2 comunidades donde se trabajó con el proyecto, pero en cantidades limitadas. Estos materiales serán remultiplicados por los comunarios en los próximos 3 años para ser utilizados en las áreas vulnerables a sequía en esas comunidades. El INIA ha distribuido semilla de 2 cv tolerantes a heladas y 1 cv. de ciclo corto a la comunidad Paltarumi.

Para el monitoreo y análisis del cambio climático, se instalaron estaciones meteorológicas en cinco comunidades (2 Bolivia y 4 Perú). Junto con las comunidades de Colomi (Cochabamba) y del altiplano norte (La Paz) en Bolivia, se elaboraron mapas de vulnerabilidades y combinando datos climáticos y de uso de suelo se desarrollaron mapas de riesgos de helada y sequía. Adicionalmente se cuenta con mapas de riesgo de la comunidad Coromata Media en el altiplano de La Paz- Bolivia y de las comunidades Collanas-Maras y Taucachichero en Perú donde se identifican áreas de riesgo de heladas, sequía o bien lugares de erosión hídrica o con probabilidad de inundación. También dos documentos de evaluación participativa de la comunidad de Paltarumi en Perú sobre riesgos a las papas nativas por amenazas derivadas del cambio climático. Toda esta información son herramientas de apoyo para que las comunidades puedan tomar decisiones en la planificación del uso de sus sistemas agrícolas.

Considerando que un plan de adaptación al cambio climático para ecosistemas andinos basados en papa debe comprender la integralidad del ecosistema, en Bolivia se ha desarrollado un documento en el que se plasma enfoques metodológicos utilizados en el proyecto (rescate de la percepción local sobre el cambio climático, y uso de sistemas de información geográfica), y opciones de adaptación (mecanismos, prácticas, etc.) en temas de suelo, agua y planta. En el Perú, el CIP y el INIA también desarrollaron un plan para las comunidades de intervención del proyecto. Los documentos están en edición.

Como parte de la difusión de información, dos ponencias fueron presentadas y publicadas en las memorias del "IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa" en Ecuador sobre las investigaciones desarrolladas en el proyecto, 2 tesis de maestría (1 presentada en Francia y 1 en Bélgica), 1 doctorado en proceso (Perú), 12 tesis de licenciatura (5 en Perú y 7 en Bolivia), 5 artículos científicos publicados y 4 en proceso, y dos manuales: "Protocolos para evaluación de germoplasma nativo y mejorado de papa a sequía, heladas y granizo", generado conjuntamente con los tres socios del proyecto, y "Nuestra papa nativa frente al cambio climático: experiencias metodológicas de investigación participativa en la comunidad de Paltarumi-Pariahuanca" elaborado por el INIA-Perú.

Palabras claves: Papa, diversidad genética, sistemas afroandinos, cambio climático, adaptación, sequía, heladas

Abstract

In the Andean region, the diversity of native potatoes has been used for thousands of years by local people as part of their survival strategies to cope with difficult weather conditions in the mountains. However, adverse events have become more recurrent, severe or random in recent years due to climate change, causing farmers to have to face serious problems. The genetic basis for the search for desirable characteristics that determine tolerance to abiotic and biotic stresses is in the potato diversity present in Bolivia and Peru. In this project parallel and complementary studies were conducted in both countries to find guidelines for farmers in the Andean region, to continue growing potatoes, implementing measures to address the effects of climate change.

Native cultivars (cv.) prioritized with communities in the first year, were evaluated in the next two years under conditions of stress. Under *ex situ* conditions (controlled conditions), in Bolivia from 30 cv. selected by farmers, 5 cv. were identified as potentially tolerant to drought by greenhouse tests and for presenting high correlation between drought resistance and activity of antioxidant enzymes. In Peru, from 10 water stress tolerant genotypes selected by *in vitro* assays, 5 were highly tolerant to drought in greenhouse tests.

In field (*in situ*), adjustments were made in evaluation methodologies to simulate drought conditions (using plastic covers) and frost (simulation by cutting foliage) in the absence of these events in the Andean region during the project period. Under these conditions, in Bolivia the same materials identified as resistant in the greenhouse and biochemical analysis, also had good yields under water stress by drought (4 cv. tetraploid). Three of these materials and other three diploid also tolerated losses of foliage (frost simulation), so they are considered potentially frost tolerant genotypes. In Peru, CIP began with 57 genebank accessions and 9 native cultivars from Tauccha community (Chinchero, Cusco). After three years of evaluations of these materials, 14 cv.

were selected in a participatory manner as extreme drought tolerant. The INIA initiated an inventory of 72 cv. in the community of Paltarumi - Parihuanca District of Peru and after three years of field evaluations identified the top 10 frost tolerant.

Assessment results of the Bolivian potato work collection (164 accessions) in the greenhouse, showed at the end of the third year, two genotypes potentially resistant to drought and frost, confirming that the genes that determine drought tolerance are somehow related to those governing cutting foliage tolerance (as simulation frost effect), so that selected genotypes to drought are also candidates to face frost stress.

In Bolivia the use of bio-products was also evaluated as technological innovation combined with genetic resistance to better cope with abiotic stresses. Field results were different in Cochabamba and La Paz. In Cochabamba the contribution of bio-inputs was significant in trials of drought, the combination of manure + mycorrhizal contributed to increase up to 500% more performance in a diploid and 280% more in a tetraploid compared with the control under drought conditions. In La Paz, the bioinsumo manure + mycorrhiza was better but not significant. Another bioinsumo (vigortop) was effective in helping the recovery of plants under cut foliage (frost simulation) and to reduce losses in the approximate range of 5-10% in Cochabamba, and about 20% in La Paz.

The potato breeding program in Bolivia, evaluated nine families of potato (obtained by inter-specific crosses) for resistance to drought, and 6 families for frost. From the material for drought (900 genotypes), 15 genotypes were selected, and from these, only two genotypes showed high degrees of recovery after getting high severities. From the material to frost (600 genotypes) two genotypes were selected that showed high resistance to frost. In Peru, the INIA national breeding program was established, evaluating at least 100 genotypes, of which promising material for frost (16 genotypes) and drought (15 genotypes) was found.

In Bolivia, it was not possible to produce large quantities of seed as intended because the project duration was too short for this purpose; however the project has invested in developing and expanding seed production capabilities to meet the commitment in the following agricultural seasons. At the conclusion of the project approx. 160 kg of seed was produced, of 5 of the 8 varieties selected in the evaluation process to drought and frost. In addition, a study was conducted on the risks of bacterial wilt in potato production (seed and consumption) that is in a process of expansion in the Andean region of Bolivia as a result of climate change and could cross the borders into the other countries. The study is a warning to take precautions in Bolivia and neighboring countries. In Peru, CIP has distributed seed of the 14 cv. highly tolerant to drought at 2 communities where they worked with the project, but in limited quantities. These materials will be re-multiplied by community over the next three years to be used in areas vulnerable to drought in these communities. INIA has distributed seed of 2 cv. frost tolerant and 1 cv. of short cycle to Paltarumi community.

For monitoring and analysis of climate change, weather stations were installed in five communities (2 Bolivia and 4 Peru). Along with Colomi (Cochabamba) and the northern Altiplano (La Paz) communities in Bolivia, vulnerability maps were drawn, and combining climate data and land use, other risk maps of frost and drought were also developed. Additionally risk maps for Coromata Media community in the highlands of La Paz, Bolivia and for Ccollanas-Maras and Tauca-Chichero communities in Peru were made where frost risk areas, drought or water erosion sites or likely to flooding, are identified. Also two participatory evaluation documents for Paltarumi community in Peru about risks to native potatoes by threats from climate change. All these information are support tools for communities to make decisions in planning the use of their farming systems.

Considering that a plan for climate change adaptation of potato-based Andean ecosystems must include the integrity of the ecosystem, in Bolivia a document has been developed which includes methodological approaches used in the project (local perceptions rescue on climate change and use of geographic information systems) and adaptation options (mechanisms, practices, etc.) on issues of soil, water and plant. In Peru, CIP and INIA also developed a plan for the communities where the project intervened. The documents are being edited.

As part of the dissemination of information, two papers were presented and published in the Proceedings of "IV Iberoamerican Congress on Research and Development in potato" in Ecuador about the research conducted in the project, 2 master's thesis (one presented in France and 1 in Belgium), 1 PhD in progress (Peru), 12 undergraduate thesis (5 in Peru and 7 in Bolivia), 5 scientific papers published in journals and 4 in progress, and two manuals: "Protocols for native germplasm and improved potato evaluation to drought, frost and hail" generated together with the three project partners, and "Our native potato facing climate change: methodological experiences of participatory research in the community of Pariahuanca - Paltarumi" developed by INIA-Peru.

Keywords: Potato, genetic diversity, Andean systems, climate change adaptation, drought, frost

Introducción

La región Andina, es el centro de origen del cultivo de la papa, su diversidad ha sido, por miles de años y todavía es, la base de la alimentación y de las estrategias de sobrevivencia de miles de comunidades campesinas, para hacer frente a las dificultades climáticas de las montañas, como heladas, granizadas y sequías. Estos eventos adversos, sin embargo se han vuelto más recurrentes, aleatorios y severos en los últimos años a consecuencia de los cambios del clima, ocasionando que los agricultores tengan serios problemas para enfrentarlos. La mayoría de las variedades tradicionales de papa que son cultivadas en la región Andina no están adaptadas al nuevo régimen de cultivo ocasionado por el cambio climático (sequías al inicio del ciclo, período de lluvias más corto e intenso, granizadas y heladas más frecuentes), por lo que estas condiciones hacen disminuir drásticamente los rendimientos e incluso perder completamente la producción de papa. Esta situación vulnera no solo la base alimentaria de las comunidades, sino también su sostén económico y social, porque los agricultores optan por migrar en búsqueda de otros medios de subsistencia.

Ante estos escenarios, se planteó la urgencia de tomar medidas preventivas y de adaptación a los efectos adversos del cambio climático sobre los sistemas de producción basados en papa. La base genética para la búsqueda de características deseables que determinen tolerancia a estreses abióticos y bióticos se encuentra en la gran diversidad de papa presente en los países de Bolivia y Perú, y que es conservada *ex situ* y por agricultores *in situ*. Estos materiales constituyen uno de los más importantes recursos fitogenéticos de la zona Andina para la seguridad alimentaria y para afrontar el cambio climático. Sin embargo, para promover un mejor aprovechamiento fueron necesarias evaluaciones sistemáticas de estos materiales dentro de un proceso participativo y combinar esfuerzos para acelerar la obtención de resultados. Con el presente proyecto se hallaron pautas para que los agricultores de la región Andina continúen cultivando papa, implementado medidas para hacer frente a los efectos del cambio climático. De esta manera se pretende contribuir a fortalecer los sistemas de producción basados en papa y a reducir su vulnerabilidad a las condiciones cambiantes del clima.

El propósito del proyecto fue que los agricultores y productores de papa cuenten con: 1. Alternativas tecnológicas (variedades potencialmente tolerantes a sequía y heladas, semilla de buena calidad fitosanitaria, y herramientas para el análisis de riesgos) y 2. Un plan (mecanismos y prácticas) de adaptación al cambio climático, para que sus sistemas de producción basados en papa puedan afrontar los efectos del cambio climático en zonas de alto riesgo de la región Andina.

Metodología utilizada y actividades realizadas

Para el logro del propósito, el proyecto fue estructurado en siete componentes: **1.** Investigación de la plasticidad fenotípica de la papa bajo condiciones controladas (*ex situ*), **2.** Investigación de la plasticidad fenotípica de la papa bajo condiciones de agricultores (*in situ*), **3.** Monitoreo y análisis del cambio climático, **4.** Mejoramiento genético (Pre-mejoramiento), **5.** Producción y distribución de semilla, **6.** Plan de prevención y de adaptación al cambio climático, y **7.** Disseminación de información.

Las instituciones socias del proyecto realizaron evaluaciones sistemáticas del material genético de papa bajo condiciones controladas (laboratorio y vivero) y en campos de agricultores de forma participativa en forma paralela en Bolivia y Perú (Componentes 1 y 2).

Estos estudios fueron complementados con la interpretación del monitoreo y análisis del cambio climático en las zonas de estudio (componente 3) su efecto actual y en condiciones predecibles en el futuro (análisis de riesgos). Paralelamente y como parte del conjunto de estrategias de adaptación a los efectos del cambio climático, se hicieron avances en los programas de mejoramiento genético en ambos países (componente 4) para la identificación de mecanismos de resistencia genética y de materiales promisorios con tolerancias/resistencia a estreses abióticos. Con los resultados de los componentes 1 y 2, y relacionados con las interpretaciones del componente 3, fue posible identificar material potencial para ser introducido (re-introducido) a las zonas de estudio en forma de semilla de buena calidad fitosanitaria, para fortalecer los sistemas de producción basados en papa (componente 5). En este componente se incluyó un estudio de avances de la enfermedad de marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) por efecto de los cambios en el clima y los riesgos que implica en la producción de semilla de papa en zonas altoandinas en Bolivia, esto para definir estrategias de cómo fortalecer los sistemas de producción con mecanismos de control (prácticas) y ampliando las capacidades de producción de semilla de alta calidad.

Los insumos generados en los componentes 1 al 5, y experiencias previas, fueron utilizados para construir un plan de adaptación al cambio climático (componente 6), para los sistemas de papa de zonas altoandinas.

Finalmente las actividades del componente 7 estuvieron dirigidas a asegurar la difusión de los resultados, logros y procesos del proyecto a través de días de campo, publicaciones para diferentes público meta (agricultores, técnicos y la comunidad científica en general) y asistencia a congresos y otros eventos.

Resultados

A continuación se presentan los resultados del proyecto organizados en componentes y dentro de cada componente se presentan capítulos de los diferentes temas de investigación desarrollados por las instituciones socias en los tres años del proyecto. Los componentes 1 al 4 hacen referencia al cuerpo principal del proyecto donde se desarrollaron las investigaciones, los componentes 5 al 6 no contemplan capítulos de investigación (excepto un tema adicional implementado en el último año en el componente 5), son mas bien temas prácticos (semilla, planes, material de difusión) resultantes de los insumos generados en los otros componentes.

Cada capítulo contiene el listado de los investigadores involucrados en el desarrollo de la investigación, un compendio, introducción, metodología, resultados y discusión, conclusiones, referencias y anexos (tablas y figuras).

Componente 1.

Investigación de la plasticidad fenotípica de la papa bajo condiciones controladas (*ex situ*)

Identificación de variedades tolerantes a estrés hídrico *in vitro* e invernadero en el CIP

Ana Panta¹, Elise Vendevre², Mervin Inga³, Nataly Franco¹, Rene Gómez¹, Alberto Salas¹, David Tay⁴, Dave Ellis¹

Compendio

Se desarrolló un método *in vitro* para selección rápida de papas tolerantes a estrés hídrico, estudiando la respuesta de 10 cultivares de papa a diferentes concentraciones de polietileno-glicol (PEG) (0-10%). Las plántulas se cultivaron a partir de segmentos uninodales. El tamaño de tallo y número de raíces de plántulas de 21 días de cultivo fue significativamente diferente entre tratamientos. Utilizando 1% de PEG se logró mejor discriminación en la respuesta de los genotipos, y las variables más informativas fueron peso seco de raíz y follaje, número de raíces y altura relativa de tallo. Los cultivares Qompis, Sullu, HHCH-4231 y Tika waman fueron los genotipos con mayor nivel de tolerancia al estrés hídrico, mientras que el Waca qorota y HJT-5337 demostraron baja tolerancia. Utilizando una variante de esta técnica, usando apices caulinares, se evaluó la respuesta de 116 genotipos procedentes de Perú y Bolivia a PEG 0,4 y 8%. Se demostró que la variable índice de longitud de raíz más larga relativa permite diferenciar significativamente la respuesta al estrés. Se seleccionó 10 materiales tolerantes, 9 cultivares (Lucky, Waca qorota, Criolla, Sani imilla, Wayru, SA-2563, Karasapa qoillu, Qompis y Pali) y 1 genotipo [G7 (I-3-137)]; y 5 cultivares susceptibles (Wila anckanchi, Achirana-INTA, Atlantic, Hancko anckanchi y CUP 31 (703617)). Estos patrones fueron similares a los resultados evaluando longitud de tallo. Los cultivares controles tolerante (Tacna) y susceptibles (Revolución y Achirana) reaccionaron de manera esperada. Los resultados de los ensayos *in vitro* se compararon con los obtenidos en invernadero. Diez genotipos fueron evaluados utilizando macetas de tubos de PVC de 120 cm de longitud y 25 cm de diámetro. Se aplicó dos regímenes de riego, normal y sequía (35 días) a partir de 40 días después de la siembra. Bajo sequía, la tasa de longitud de raíz según Newman (LRN) del cultivar Qompis fue significativamente superior al control Tacna; los cultivares Waca qorota, Choquepito, Wila yari, Yana runa y Luqui morada resultaron con LRN semejante a Tacna; los cultivares Jancko anckanchi, Darwin Potato y Desiree mostraron la más baja tasa de LRN, menor que el control. El genotipo Qompis también resultó tolerante cuando se analizó las variables severidad, grado de recuperación y altura de planta. En términos de rendimiento de tubérculo, Choquepito, Luqui morada, Wila yari y Waca qorota, mostraron las tasas más altas, superiores al control Tacna; Yana runa, Qompis y Hancko anchanchi fueron semejantes al control; los cultivares Desiree y Darwin potato dieron la menor producción. En un segundo ensayo en invernadero se evaluó 21 genotipos, aplicando tres regímenes de riego, sequía (0, 15 y 30 días) a partir del inicio de la tuberización. Bajo sequía de 15 días, y utilizando los valores relativos al control, se encontró que el contenido de clorofila A (CAR) tiene correlación positiva (41%) con el peso fresco de follaje (PFFr); el peso seco de follaje (PSFr) tiene correlación positiva (52%) con el peso fresco de tubérculo (PFTTr). En base al rendimiento de tubérculo relativo (RTr) obtenido con 30 días de sequía, se encontró que 86% (18/21) de los genotipos previamente seleccionados *in vitro*, resultaron tolerantes a sequía ya que su RTr fue mayor que el control (Qompis, 48%). Los genotipos cuyo rendimiento de tubérculos bajo sequía de 15 días fue significativamente similar al control se consideraron con cierta tolerancia (Waca qorota, Lucki, Hancko anckanchi, H-1, Costanera, Darwin Potato, 394881.8, Yana runa, Desiree, FP5079.1 (genotipo de *S. commersoni*), Yalca qoillu y Sakampaya); de ellos Hancko anckanchi, 394881.8, Desiree, FP5079.1, y Sakampaya demostraron ser tolerantes porque su rendimiento de tubérculos bajo sequía de 30 días fue significativamente similar al control. En función del rendimiento de tubérculo los genotipos mostraron diferencias significativas resultando dos cultivares de alto rendimiento (501065.1 y Waca qorota), seis de rendimiento similar al control Tacna (Karasapa qoillu, Qompis, Choquepito, 397077.16, Luqui morada, Lucki), doce de rendimiento menor al control (Jancko anckanchi, H-1, Sierra Volcan, Costanera, Darwin Potato, 394881.8, Yana runa, Wila yari, Desiree, FB5079.1, Yalca qoillu, Sakampaya). Los cultivares nativos que presentaron el mayor y menor rendimiento fueron Waca qorota y Sakampaya, respectivamente.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum*), es el cuarto cultivo alimenticio más importante en el mundo después de maíz, trigo y arroz. La papa en comparación con otras especies es considerada susceptible a sequía debido a que esta

¹ Banco de Germoplasma – CIP

² Agrocampus Ouest-Francia

³ Universidad Nacional del Centro-Huancayo, Peru

⁴ Actualmente Ex-CIP, en cuya Jefatura del Banco de Germoplasma y representación se inició este Proyecto

afecta su sistema radicular (Iwama y Yamaguchi, 2006); a pesar de ello, se ha reportado estudios que demuestran una respuesta diferencial entre individuos sometidos a ensayos bajo condiciones de estrés hídrico (Ranalli et al., 1997; Lahlou et al., 2003). Muchas de las áreas de producción de papa en países en desarrollo están localizadas en lugares semiáridos, donde la temporada de sequía contribuye a una pérdida considerable. Es en estas regiones, donde el rango de producción tiene una media global de alrededor del 30%, variedades de papa tolerantes a sequía podrían mejorar considerablemente el rendimiento (Schafleiner, 2009).

El cultivo de papa es muy sensible al déficit hídrico; es así, que a pesar del riego ocurre un estrés hídrico durante el mediodía debido a las altas tasas de transpiración (Harris, 1978; Kumar et al., 2003). La sensibilidad al estrés hídrico hace que la papa sea exigente al agua, necesitando de 400 a 600 litros para producir 1 kilogramo de materia seca de tubérculo (Beukema & Van der Zaag, 1979).

Harris, 1992 & Bailey, 2000 sostienen que la limitada tolerancia del cultivo de papa a la sequía se debe a la ineficacia de su sistema radicular y a la tendencia al cierre de estomas, mermando el desarrollo vegetativo. Egúsqiza, 2000, menciona que el cierre de estomas es negativo para la producción y tiene consecuencias como: reducción del ingreso de CO₂, menor actividad fotosintética, menor producción de materia seca, mayor respiración y maduración precoz del cultivo. La mayor parte de los investigadores sostienen que el periodo crítico al déficit hídrico en el cultivo de papa es la tuberización, requiriéndose de un adecuado suministro de agua desde su inicio hasta completar la madurez del tubérculo para obtener adecuados rendimientos (Salter y Goode, 1967; Egúsqiza, 2000; Jensen et al., 2000). Diferencias varietales dentro del cultivo de papa, han sido observadas en la respuesta a sequía, principalmente entre variedades de *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* (Steckel & Gary, 1979; Levy, 1983).

El mejoramiento para la tolerancia a sequía debería de ser una prioridad en los programas de investigación de biotecnología de cultivos (Altman, 2003). Las técnicas de cultivo de plántulas *in vitro* son muy utilizadas para la conservación, multiplicación y distribución de germoplasma de papa (Rocca et al., 1975; Donnelly et al., 2003). Estas técnicas también han sido utilizadas para la selección de materiales tolerantes a diversos factores bióticos y abióticos en diferentes cultivos.

Las técnicas de cultivo de tejidos son consideradas una alternativa de bajo costo para contribuir a evaluar la respuesta de plantas a diferentes estreses (Sakhanokho y Kelley, 2009); y tienen el potencial para la selección masiva de materiales tolerantes a estrés hídrico usando recursos de menor costo, en comparación con ensayos de campo.

Teniendo en cuenta estos precedentes, durante el proyecto, se realizó ensayos *in vitro* con el propósito de desarrollar un método de selección rápida de papas tolerantes a estrés hídrico y evaluar la respuesta a estrés hídrico de un diverso grupo de cultivares de papa nativos de Perú y Bolivia. Para verificar la eficiencia del método *in vitro*, utilizando 21 genotipos también fueron evaluados bajo condiciones controladas de invernadero. Los métodos utilizados en el estudio se basaron en: 1) la evaluación del desarrollo radicular, utilizando tubos de PVC que permitan la expansión de las raíces; y 2) el método previamente ensayado por colaboradores de PROINPA, utilizando macetas y tres regímenes de riego.

Materiales y métodos

1. Método de evaluación *in vitro* para tolerancia a estrés hídrico de papa

En base a la literatura y consulta de la base de datos de germoplasma del Centro Internacional de la Papa (CIP), se seleccionaron 10 accesiones (Tabla 1). Las 10 accesiones fueron seleccionadas por su respuesta conocida a la sequía en el campo, a salinidad *in vitro*, a tratamientos deshidratantes-osmóticos mediante PVS2 (solución osmótica), data de situación geográfica de origen, y su taxonomía. Entre los materiales seleccionados se encontraron representantes de 5 de las 7 especies de papas cultivadas que se conservan en el banco de germoplasma *in vitro* del CIP. Tres genotipos fueron elegidos como controles: Sullu (tolerante), Qompis (moderado tolerante), y Revolución (susceptible). Plántulas *in vitro* de materiales seleccionados fueron adquiridas del Banco de germoplasma del CIP.

Micro-esquejes de 5 a 10 mm, conteniendo 1 o 2 nudos fueron utilizados como explantes para propagar el material vegetal. Ellos fueron subcultivados por 3-4 semanas en MSA, medio de propagación de papa utilizado en el CIP (sales MS (Murashige & Skoog, 1962) 4.33 g/l, ácido giberélico 0.1 mg/l, glicina-2 mg/l, mio-inositol 100 mg/l, ácido nicotínico 0.5 mg/l, piridoxina 0.5 mg/l, tiamina 0.1 mg/l, sacarosa 25 mg/l, agar 6 g/l; pH 5.6). El cultivo se realizó utilizando tubos de ensayo de 25 x 150 mm conteniendo 11 ml de medio, a 22°C, 16 h fotoperiodo, 102 µmol m⁻² s⁻¹ de intensidad luminosa de luz blanca de fluorescente.

Para los tratamientos, los esquejes uninodales (no se utilizó los segmentos apicales ni los basales) se cultivaron en medio MSA gelificado con 3 g / L de Phytigel y complementado con diferentes concentraciones de polietilenglicol, peso molecular 8000 (PEG8000, Sigma Aldrich). Se probaron seis dosis: 0, 1, 2, 4, 8 y 10%. Se midió la conductividad y potencial de agua para cada uno de los tratamientos. La esterilización se realizó por autoclave (121 ° C durante 20 minutos). Se cultivó 3 explantes en cada tubo. Los cultivos se incubaron a 18-22 ° C, fotoperíodo de 16 h, 102mmol m⁻² s⁻¹. Las evaluaciones se realizaron a 3 semanas de edad de los cultivos. Se evaluó las siguientes variables: sobrevivencia de los explantes, tasa de explantes con raíz, longitud del tallo, longitud de raíz más larga, número de raíces primarias, peso fresco y seco de raíz y tallo. Para determinar el peso seco, las muestras se colocaron en un horno con circulación de aire a 80 ° C durante 3 días.

El experimento se realizó en un diseño completamente aleatorizado de dos factores (10 genotipos x 6 niveles de PEG), se consideró 3 repeticiones, en cada una ocho 8 tubos por tratamiento (3 plántulas cada uno) fueron evaluados. Para la mayoría de las variables, la evaluación fue planta por planta; cada uno de los 8 valores registrado es la media de los tres valores correspondientes a las tres plantas por tubo. Las variables peso fresco o seco fueron la suma de los valores de las tres plantas que crecieron en el mismo tubo. Para los análisis de datos se utilizó el programa R para las pruebas ANOVA, Kruskal Wallis y LSD.

El estudio se realizó dentro de la investigación de Elise Vendeuvre como parte de su tesis para obtener el grado de Master en Ciencias.

2. Selección *in vitro* de cultivares nativos de papa tolerantes a estrés hídrico utilizando PEG.

El material vegetal se obtuvo de la colección *in vitro* del banco de germoplasma del CIP. Se seleccionó 116 genotipos con características promisorias a tolerancia por sequía, comprendiendo principalmente, cultivares nativos de Perú y Bolivia. También se utilizó algunos cultivares mejorados como controles. Se estudió la respuesta a 3 niveles de polietilenglicol de peso molecular 8000 (PEG) (PEG8000, Sigma Aldrich). Los tratamientos fueron 0, 4 y 8% de PEG.

Se utilizó ápices caulinares de 0.5 cm de longitud aproximadamente provenientes de plántulas *in vitro* de 18 días de cultivo siguiendo el método indicado en el punto 4.1.3.1. Se sembraron 4 explantes por tubo conteniendo medio MSA complementado con PEG (0, 4 y 8%). Se cultivó cuatro explantes por tubo de ensayo (25 x 150 mm). La respuesta diferencial entre genotipos frente al estrés hídrico inducido por PEG fue evaluado en las plantas a los 21 días de edad, considerando las siguientes variables: longitud del tallo, longitud de la raíz más larga, número de raíces principales, peso fresco de raíz y follaje; posteriormente el follaje y raíces fueron secadas en el horno a 80°C por 72 horas para obtener el peso seco (Gopal *et al.*, 2007 y Vendeuvre, 2010).

Se realizaron 3 experimentos en un diseño completamente al azar. Con el objetivo de obtener diferencias estadísticas significativas, el análisis de varianza (ANOVA) se realizó utilizando los resultados de los experimentos que mostraron menor error estadístico. Seguidamente, utilizando la prueba exploratoria jerárquica de ScottKnott (SK) se agruparon los cultivares en base a su respuesta a los tratamientos. (Scott y Knott, 1974, Jelihovschi *et al.*, 2009). Con la finalidad de obtener los posibles genotipos más tolerantes según la prueba de SK, se procedió a comparar los resultados obtenidos con las tres diferentes variables. Se seleccionaron como genotipos tolerantes aquellos que se agruparon estadísticamente con el respectivo control tolerante, y adicionalmente su respuesta era consistente entre experimentos. La unidad experimental estuvo constituida por 4 plántulas contenidas en un tubo, se consideraron 20 réplicas por tratamiento (5 tubos x 4 plántulas). Para los análisis estadísticos se seleccionaron los 2 experimentos que mostraron la menor variabilidad en las respuestas. Se utilizó el programa R versión 2.13.2 (R development core team, 2008). Se evaluó datos de número de raíces principales (NRP), longitud de la raíz más larga (LRML), longitud del tallo (LT); además se analizó los índices para cada una de estas variables y para cada dosis, 4% y 8%, calculándose el coeficiente de la respuesta del tratamiento sobre la respuesta del control (PEG 0 %).

3. Selección de cultivares nativos de papa tolerantes a estrés hídrico, en invernadero (CIP-Huancayo Perú)

Se utilizó 21 genotipos por sus características promisorias de tolerancia a sequía (Tabla 2). Los ensayos para evaluar la respuesta a estrés hídrico de 20 genotipos de papa bajo condiciones de invernadero se realizaron en la estación experimental del CIP ubicado en Santa Ana – Huancayo: 1) Utilizando tubos de PVC; y 2) Utilizando macetas; ambas metodologías de detallan a continuación. El estudio lo realizó el Bachiller Mervin Inga dentro del marco de su tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo.

Utilizando tubos de PVC:

Se preparó semilla-tubérculo de 10 cultivares de papa en la Estación Experimental del CIP- Santa Ana, Huancayo, Peru. Los cultivares fueron: Wila yari, Hancko ankanchi, Choquepito, Waca qorota, Yana runa, Qompis, Darwin Potato, Tacna, Luqui morada y Desiree. El cultivo se realizó utilizando recipientes de tubos de PVC de 1.20 de longitud y 25 cm de diámetro y bajo condiciones de invernadero tipo túnel (Figura 1). Como sustrato se utilizó cuarzo blanco. Para los tratamientos se aplicó un diseño completamente aleatorizado de dos factores, 10 genotipos de papa y 2 regímenes de riego (riego normal, y sequía de 40 días) con cinco repeticiones. La sequía se aplicó a partir de los 40 días después de la siembra. Se consideró los siguientes parámetros a evaluar: fisiológicos (severidad, recuperación, número de estomas y contenido de clorofila), morfológicos (grado de postrado, materia seca, altura de planta y longitud de raíz) y componentes de rendimiento (peso y número de tubérculos).

Los parámetros severidad, utilizando la escala modificada de Blum (1993); grado de postrado (según la escala de Gabriel *et al*, 2011), y altura de planta fueron evaluados en las cinco repeticiones antes de realizar el análisis destructivo. La evaluación por cosecha destructiva se realizó solo con dos plantas y permitió evaluar variables como materia seca de follaje, materia seca de raíces, longitud de raíz más larga (LRML) y longitud de raíz según Newman (1974) (LRN) utilizando dos repeticiones elegidas al azar dentro de cada régimen. Las otras tres repeticiones de cada régimen se utilizaron para obtener datos de componentes de rendimiento (peso y número de tubérculos), además de parámetros fisiológicos como son: grado de recuperación según la escala modificada de Blum (1993), contenido de clorofila calculado a partir de las fórmulas de Wintermans y De Mots, 1965, y el número de estomas.

Los datos de las variables respuesta fueron analizados utilizando el programa R versión 3.0.0. Las variables LRML, LRN, peso seco de follaje (PSF) y peso seco de raíz (PSR) fueron analizadas mediante pruebas paramétricas o no-paramétricas según si cumplían o no con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para aquellas que cumplían con los supuestos se utilizó ANOVA y posteriormente un análisis de agrupamiento mediante la prueba de comparación de medias LSD; para aquellas que no cumplían con los supuestos se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Las correlaciones entre variables fueron analizadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

Utilizando macetas y tres regímenes de riego:

El material vegetal fue obtenido a partir de plántulas de papa *in vitro* conservadas en el banco de germoplasma del CIP. Las plantas se desarrollaron en invernadero en macetas de 8 pulg de diámetro. Los regímenes de riego fueron 1) riego normal a capacidad de campo cada 4 días (control); 2) sin riego a partir del inicio de la tuberización durante 15 días; 3) sin riego a partir del inicio de la tuberización durante 30 días. Los tratamientos estuvieron formados por dos factores: 20 genotipos de papa y 3 regímenes de riego. El diseño experimental fue completamente al azar de parcelas divididas con tres repeticiones. La unidad experimental comprendió 3 macetas, cada una con una planta. Las variables respuesta evaluadas fueron las mismas indicadas en el ítem 4.1.3.3.1.

Resultados y Discusión

1. Método de evaluación *in vitro* para tolerancia a estrés hídrico de papa

La matriz de correlación de las variables estudiadas y el efecto de los tratamientos ensayados se presentan en las Tablas 3 y 4. El método se definió en base a ensayos previos para selección *in vitro* de materiales tolerantes a estrés hídrico y salino (Suharjo, 2004; Gopal y Iwama, 2007, Gopal *et al*, 2008, Panta *et al*, 2009). Mediante el uso de segmentos caulinares uninodales y evaluación de biomasa de plántulas *in vitro* después de 3 semanas de cultivo, en la mayoría de las variables se encontró diferencias significativas utilizando 1% de PEG 8000; en algunas se encontró diferencias significativas con dosis de 1-4%. La evaluación de valores relativos con respecto al control sin PEG de altura de plántula, número de raíces, y el peso seco de follaje permitieron discriminar los genotipos de papa tolerantes al estrés hídrico a nivel vegetativo, incluyendo los genotipos tolerantes a la sequía y Sullu y Qompis, los cuales mantuvieron su rendimiento esperado. Los cultivares Qompis, Sullu, HHCH-4231 y Tika waman fueron los genotipos con mayor nivel de tolerancia al estrés hídrico, mientras que el Waca qorota y HJT-5337 demostraron baja tolerancia. En general las dosis más cercanas una a la otra no fueron significativamente diferentes. Por ejemplo, la dosis 2% y 4% no fueron diferentes para número y longitud de raíces, altura de planta materia seca de follaje y materia seca de raíz. Para altura de plántula y materia seca de follaje las dosis 8 y 10% de PEG no fueron significativamente diferentes; a partir de la dosis de 8% se observó efecto inhibitorio de desarrollo. El método utilizando explantes uninodales es simple; sin embargo, es

representativo de las respuestas a condiciones *in vitro*, por lo tanto es necesario que las respuestas sean corroboradas en condiciones de suelo. Existen ejemplos de variedades tolerantes al estrés hídrico en la fase vegetativa que no mantienen el rendimiento en condiciones de sequía (Tourneux *et al*, 2003; Schafleitner *et al*, 2007b).

2. Selección *in vitro* de cultivares nativos de papa tolerantes a estrés hídrico utilizando PEG.

Los ANOVA (Tabla 5) demostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los tratamientos. El agrupamiento de respuestas semejantes se realizó mediante la prueba de Scott-Knott (1974). Se demostró que la variable índice relativo de longitud de raíz (LRMLr) permite diferenciar significativamente la respuesta al estrés (Tabla 6). Se seleccionó 10 cultivares tolerantes [Lucky, Waca qorota, Criolla, Sani imilla, Wayru, SA-2563, Karasapa qoillu, Qompis, Pali y G7 (I-3-137)]; y 5 susceptibles (Wila ankanchi, Achirana-INTA, Atlantic, Hancko ankanchi y CUP 31 (703617)). Estos patrones fueron similares a los resultados evaluando el índice relativo de longitud de tallo (LTr). Los cultivares controles tolerante (Tacna) y susceptibles (Revolución y Achirana) reaccionaron de manera esperada.

Mediante el análisis de la variable índice relativo de número de raíces por planta (NRPr) (Tabla 7), utilizando la dosis al 4% se observó la formación de 2 y 3 grupos para los experimentos 1 y 2 respectivamente [(A:54 y B:36 genotipos) y (A:37, B:40, C:13 genotipos)]. Así mismo la prueba resolvió 3 y 5 grupos para la dosis al 8%, tanto para el experimento 1 (A:59, B:26, C:5 genotipos) y 2 (A:11, B:23, C:47, D:6, E:3 genotipos). Además dentro de cada experimento se comparó los resultados de cada genotipo con el control tolerante (Tacna), dando como resultado que 69 y 81 tolerantes para la dosis 4% en los experimentos 1 y 2, respectivamente; y, 45 y 55 tolerantes para la dosis 8% en los experimentos 1 y 2, respectivamente. No obstante, los cultivares que mostraron respuestas consistentes fueron aquellos que mostraron NRPr superior al 0.7 y resultaron agrupados dentro de la categoría superior (a). Comparando los resultados de los experimentos 1 y 2, dosis 4%, se seleccionó 24 genotipos (Yana rucunag, Pali, Tulu Kuchus, Sierra volcán, Sakampaya, Rosita, Lucki-706776, 705234, Lucki-704745, Revolución, Jancko, Pumapa makin, Llamapa chupam, Pituwayaka, Wila pali, Muru warkatina, Linlesh, Puca allqu, Wayru, Escolta, 703462, Yurac Qompis, Puca allqu, Yana anku) que resultaron tolerantes en ambos experimentos. Estos genotipos mostraron índices de 0.72 a 0.94 de NRPr en el experimento "1"; y para el experimento 2 los índices fueron entre 0.74 a 1. Así mismo se procedió a comparar los resultados para la dosis al 8% obteniendo 12 genotipos que se agruparon dentro de los mejores (Wila Pali, Lucki-706776, Lucki-707017, Wayru, Yana P'utis, Sakampaya, 705234, Linlesh, Rosita, Llamapa Chupam, Yana Rucunag y 703462) con medias para el experimento "1" entre 0.71 a 0.85, y para el experimento "2" las medias fueron de 0.7 a 0.97. Los genotipos encontrados tolerantes, utilizando ambas dosis, fueron: Llamapa Chupam, Sakampaya, Yana Rucunag, Lucki-706776, 705234, Rosita, Wila pali, Wayru, Linlesh y 703462.

Utilizando la variable NRPr, en los genotipos considerados susceptibles y empleados como controles en base a estudios previos (Tabla 1), no se observó la respuesta esperada. Para esta variable los genotipos más sensibles al tratamiento de 4% de PEG fueron Holandesa, Wila ankanche, Wayru, y Wila palta yari, en base al Experimento 1; y los genotipos Wila ankanche, Wila palta yari, Kellu Culi y Holandesa, para el Experimento 2. Mientras que para el tratamiento 8% de PEG, para el primer experimento, se diferenciaron como susceptibles 5 genotipos (Kellu Culi, Wila ankanche, Hancko ankanchi, 703311 y Wila palta yari). Para el experimento 2, tres genotipos (Wila palta yari, Holandesa y Wila ankanche) fueron los más susceptibles. Finalmente, una comparación entre ambas dosis nos da como resultado que los genotipos Wila palta yari y Wila ankanche fueron los más susceptibles (Tabla 7).

Para la variable LRMLr, según la prueba de SK para la dosis al 4%, se encontró la formación de 4 grupos tanto para el experimento 1 (A:20, B:36, C:23, D:12 genotipos) y 2 (A:23, B:31, C:25, D:12 genotipos). Por otro lado utilizando la dosis 8% se diferenciaron 4 grupos (A:19, B:22, C:31, D:19 genotipos) y 3 (A:16, B:37, C:38 genotipos), para los experimentos 1 y 2, respectivamente. Además se comparó cada experimento a sus respectivos controles tolerantes (Tacna), dando como resultado 46 y 71 tolerantes para la dosis 4% experimentos 1 y 2, respectivamente; y, 41 y 39 tolerantes para la dosis 8%, experimentos 1 y 2, respectivamente. No obstante los mejores resultados están dados por aquellos que tienen un índice superior a 0.74 (Exp. 1) y 0.73 (Exp. 2) (Tabla 6); y se encuentran agrupados dentro de la categoría superior "a". Respecto a la dosis 4%, se encontraron 14 cultivares tolerantes en ambos experimentos 1 y 2 (Lucki-707017, G-7, 704365, Waca Qorota, Criolla, Pali-706068, Sani Imilla, Wayru, SA-2563, Karasapa coillo, Qompis, Wila Pali, Choquepito, y Pali-704783). Por otro lado, con la dosis al 8% se observó que 11 cultivares fueron los más sobresalientes, Lucki, Waca qorota, Criolla, Sani Imilla, SA-2563, Pali-704783, Qompis, Wayru, Cuchi Chuchan, Wila Imilla y G-7, los cuales fueron tolerantes en los Experimentos 1 y 2. Una vez más se contrastaron ambas

dosis y se encontró que los cultivares Lucki-707017, G-7, Waca qorota, Criolla, Sani Imilla, Wayru, SA-2563, Karasapa Coillo, Qompis y Pali son los que se repiten en ambos tratamientos. Además, dentro de cada experimento se comparó los resultados de LRMLr de cada genotipo con el control susceptible (Achirana-INTA). Utilizando la dosis 4% PEG, en el Experimento 1 se diferenciaron 31 genotipos susceptibles los cuales estadísticamente se agruparon en las categorías “c” y “d” (Tabla 6). En el Experimento 2 se encontraron 16 genotipos susceptibles, los cuales se diferenciaron estadísticamente en las categorías “c” y “d”. Para la dosis 8% PEG, en el experimento 1 se diferenciaron 12 susceptibles (categoría “d”) con índices menores de 0.15. En el Experimento 2 se diferenciaron 15 susceptibles (categoría “c”) con índices menores de 0.17. Respecto a la dosis 4%, los genotipos más susceptibles (categoría “d”) que coincidieron en ambos Experimentos 1 y 2, fueron nueve (Wila anckanche, Sakampaya, Muru warkantina, Lucki-704745, Wila Palta Yari, 703617, Canastilla, Hancko anckanchi y Atlantic). Respecto a la dosis 8% de PEG se observó que 9 genotipos fueron los más susceptibles para ambos experimentos; los genotipos fueron 703456, H-1, Desiree, Wila anckanche, 703617, Atlantic, Hancko Anckanchi, 703311, Wila palta yari. Cinco fueron los genotipos susceptibles a ambas dosis: 703617, Wila palta yari, Wila anckanche, Atlantic, Hancko anckanchi (Tabla 6).

Los resultados demostraron que la respuesta de los genotipos controles, utilizando la variable LRMLr, es la esperada ya sea como tolerantes o susceptibles. Por lo tanto se estima que dicha variable es la que mejor permite diferenciar la respuesta de los genotipos en el estudio como tolerantes y susceptibles.

Respecto a la variable LTr, utilizando la dosis 4% de PEG, en el experimento 1 se observó la formación de 5 grupos (A:9 y B:26 C:42, D:7, E:5 genotipos); así también en el experimento 2 se obtuvieron 5 grupos (A:2 y B:4 C:13, D:59, E:11 genotipos). Con la dosis de 8%, se diferenciaron 3 grupos para el experimento 1 (A:14, B:25, C:50 genotipos) y de 5 para el experimento 2 (A:1, B:9, C:25, D:29, E:29 genotipos). Utilizando esta variable, en el control tolerante (Tacna), no se observó la respuesta esperada; el índice LT de Tacna fue 0.21 correspondiente a la categoría de tasa más baja. En base al agrupamiento estadístico según la prueba SK, en el Experimento 1 se diferenció 9 genotipos como categoría “a”, y en el Experimento 2, este resultado es poco comparable ya que solo se resolvieron dos genotipos como categoría “a”. Debido a estos resultados y considerando que el control tolerante no respondió con valores altos, se considera que esta variable es poco informativa en este estudio. A pesar de ello, es importante destacar que el cultivar Tarmeña Roja es el único que mostró valores altos de índice de LT en los Experimentos 1 (0.6) y Experimento 2 (0.85) utilizando la dosis 4% PEG, demostrando su capacidad de desarrollo de follaje en condiciones de estrés hídrico. Utilizando la dosis 8%, el genotipo Tarmeña al igual que aproximadamente 15 genotipos más tienen similitud estadística al control tolerante Tacna; así también debe resaltarse que el genotipo FB4021C1.12 (*Solanum commersoni*) mostró los valores más altos 0.39 y 0.54 LTr en los Experimentos 1 y 2, respectivamente.

Finalmente, respecto a los genotipos que fueron encontrados susceptibles, se observó que la dosis 8% de PEG permitió diferenciar un grupo numeroso de genotipos más sensibles los cuales fueron estadísticamente semejantes al control susceptible, cultivar Revolución. Cuando se utilizó la dosis 4% PEG los resultados no fueron similares (Tabla 8).

3. Selección de cultivares nativos de papa tolerantes a estrés hídrico, en invernadero (CIP-Huancayo Perú)

Utilizando tubos de PVC:

Los resultados demostraron que el efecto de los tratamientos de riego (R1 y R2), y de los genotipos en estudio (10) fue significativo (prueba de Kruskal-Wallis). Mediante la variable “grado de marchitez” (severidad) (Figura 2) se encontró que los genotipos Jancko Anckanchi y Qompis no se muestran afectados teniendo un 0% de plantas marchitas, seguidas del control tolerante Tacna con dos plantas marchitas cada una con aproximadamente 42% de marchitez. Ocho genotipos resultaron afectados en diferente nivel de marchitez (severidad), variando desde 25% (Darwin potato, Desiree y Wila Yari) hasta 60% (Waca Qorota), y mostrando diferente número de plantas afectadas (2-4). Además se observó que Darwin Potato y Desiree muestran un comportamiento tolerante ya que poseen marchitez (severidad) baja y recuperación hasta del 100%.

De acuerdo a los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 9) para las variables severidad y grado de postrado, se encontró correlación positiva significativa ($P < 0.05$) y estuvieron altamente relacionadas ($r = 0.85$). Esto indicaría que cuanto mayor fue la severidad, mayor fue el grado de postrado. Por el contrario la severidad y el grado de recuperación tuvieron una asociación negativa. Es lógico suponer que cuando más severidad alcanzó una variedad le fue más difícil recuperarse. Por ejemplo, el cultivar Waca qorota que alcanzó la mayor severidad fue una de las que demostró recuperación más baja. En el caso de la recuperación y el grado de postrado la correlación no fue significativa.

Los resultados de la variable número de estomas demostraron (Tabla 10) que los genotipos Darwin potato y Desiree mostraron los valores más bajos, ~15 y ~9.5 estomas por campo óptico (a 40 X), lo cual concuerda con la hipótesis de que genotipos que muestran alta capacidad de recuperación tienen número de estomas menor, lo cual también ha sido observado previamente (Gabriel *et al*, 201). Adicionalmente se observó que los genotipos que no fueron afectados por estrés de sequía, Hancko Anckanchi y Qompis, tuvieron los números más altos de estomas. Esto en alguna medida podría significar que el número de estomas bajo ayuda a la tolerancia y a la recuperación frente a un estrés hídrico, pero no puede afirmarse que para todos los genotipos.

Al comparar los recuentos de número de estomas entre los regímenes aplicados se observa que Waca qorota, cultivar que alcanzó mayor marchitez, tiene mayor número de estomas (23.8) en el tratamiento bajo estrés de sequía que en el tratamiento control (19.0). Adicionalmente resulta interesante resaltar que los genotipos que respondieron mejor al estrés (Hancko anckanchi, Qompis, Darwin potato y Desiree) mostraron número de estomas ligeramente menor en las plantas sometidas a estrés (Tabla 10). Estos resultados sugieren que los mecanismos para responder positivamente al estrés de los 4 genotipos antes mencionados son diferentes a la respuesta de Waca Qorota. Esto podría estar asociado con la respuesta de genotipos susceptibles a sequía, de cierre de estomas que menciona Egúsqiza, 2000.

Respecto a las variables fisiológicas, mediante la prueba no paramétrica Kruskal Wallis se encontró que utilizando la variable materia seca de follaje el efecto de régimen de riego fue significativo, pero no el efecto de cultivar. Las variables longitud de raíz más larga, materia seca de raíces no permitieron observar diferencias significativas (Tabla 11).

Para el análisis de la variable longitud de raíz según Newman (Tabla 12), se halló que había diferencias significativas entre los regímenes. El régimen de sequía a 35 días mostró mayor valor de longitud de raíces (9125.7 cm) que el régimen control (6803.2 cm). Además el análisis de varianza fue significativo ($Pr < 0.001$) para el efecto de cultivares. Esto nos permitió agrupar los genotipos mediante la comparación de medias de LSD, logrando agrupar a los genotipos en tolerantes (3), moderadamente tolerantes (5) y susceptibles (2). Los genotipos Qompis, Waca Qorota y Choquepito se encuentran agrupados como tolerantes; Desiree y Darwin Potato fueron agrupados como susceptibles. El genotipo Qompis es el que más se destaca sobre los 10 genotipos analizados con una longitud de raíces de 20834.6 cm, y muestra constancia en su respuesta para otras variables como severidad y grado de recuperación. Por otro lado, el genotipo Desiree se mostró como el más susceptible con una longitud de raíces de Newman de 896.5 cm y no muestra constancia en su respuesta ya que para las demás variables como severidad y grado de recuperación se mostraban con algún grado de tolerancia. Lo cual sugiere que Desiree muestra cierto nivel de tolerancia. Es importante mencionar que el coeficiente de variabilidad (41%) es justificado porque los análisis provienen de solo dos repeticiones.

La variable longitud de raíz según Newman mostró un agrupamiento claramente definido para los genotipos en tres grupos y ubicó al control Tacna dentro del grupo de los moderadamente tolerantes, sugiere que esta variable podría ser usada para la selección de genotipos tolerantes. El cultivar Tacna es una variedad mejorada, tolerante a sequía, para uso en costa; por lo tanto bajo condiciones de altura su performance no es la ideal. Lo cual indica que para este tipo de estudios debe utilizarse genotipos tolerantes de altura. El presente estudio revela que la variedad Qompis es un buen candidato para este propósito.

Al analizar los resultados de los componentes de rendimiento peso fresco de tubérculo (PFT) y número de tubérculos (NT) en correlación con la variable más informativa, longitud de raíces de Newman (LRN) (Tabla 13), se determinó que existe correlación positiva significativa del 44% ($Pr < 0.005$).

En el análisis de la altura de planta (Figura 3), nos muestra que los genotipos Qompis y Yana runa fueron los que crecieron incluso después del inicio del tratamiento de sequía. Igualmente los genotipos Desiree y Darwin Potato son los que menos crecieron bajo ambos tratamientos. En la Figura 3 se demuestra que las mayores diferencias entre genotipos en cuanto a la elongación del tallo se evidencian claramente a partir del inicio de la tuberización (semana 4 después de iniciada la sequía).

En términos de rendimiento de tubérculo (Tabla 14), Choquepito, Luqui morada, Wila yari y Waca qorota, mostraron las tasas más altas, superiores al control Tacna; Yana runa, Qompis y Hancko anckanchi fueron semejantes al control; los cultivares Desiree y Darwin potato dieron la menor producción.

Utilizando macetas y tres regímenes de riego:

Se utilizaron plántulas *in vitro* del Banco de Germoplasma del CIP. El experimento se instaló en un invernadero sembrando 27 plantas por genotipo (1 planta por maceta), considerando tres repeticiones cada una con tres tratamientos y cada tratamiento con 1 unidad experimental compuesta de tres plantas (Figura 4).

Para los análisis principalmente se utilizó los índices relativos al control. Las matrices de correlación de las variables estudiadas se muestran en las Tablas 15 y 16. La Tabla 15 se refiere a los valores promedio de los 2 tratamientos de sequía (15 y 30 días), y la Tabla 16 se refiere a los valores obtenidos en el tratamiento sequía de 15 días.

Bajo sequía de 15 días, y utilizando los valores relativos al control (Tabla 16), se encontró que el contenido de clorofila A (CAR) tiene correlación positiva (41%) con el peso fresco de follaje (PFFr); el peso seco de follaje (PSFr) tiene correlación positiva (52%) con el peso fresco de tubérculo (PFTTr). En base al rendimiento de tubérculo relativo (RTr) obtenido con 30 días de sequía, se encontró que 86% (18/21) de los genotipos previamente seleccionados *in vitro*, resultaron tolerantes a sequía ya que su RTr fue mayor que el control (Qompis, 48%). Analizando el rendimiento de tubérculo y comparando las respuestas a los regímenes de sequía dentro de cada cultivar o genotipo, se encontró que los cultivares Waca qorota, Lucki, Hancko ankanchi, H-1, Costanera, Darwin Potato, 394881.8, Yana runa, Desiree, Yalca qoillu y Sakampaya, así como el genotipo FP5079.1 de la especie silvestre *S. commersoni*, mostraron cierta tolerancia ya que su respuesta a sequía de 15 días fue similar al control sin sequía; de ellos, Hancko ankanchi, 394881.8, Desiree, FP5079.1, y Sakampaya demostraron ser tener mayor tolerancia ya que su rendimiento de tubérculos bajo sequía de 30 días fue significativamente similar al control. Mediante la comparación de rendimiento de tubérculo entre las accesiones, se encontró diferencias significativas resultando dos cultivares de alto rendimiento (501065.1 y Waca qorota), y seis cultivares de rendimiento similar al control Tacna (Karasapa qoillo, Qompis, Choquepito, 397077.16, Luqui morada, Lucki). Los cultivares Jancko ankanchi, H-1, Sierra Volcan, Costanera, Darwin Potato, 394881.8, Yana runa, Wila yari, Desiree, Yalka qoillu y Sakampaya, así como el genotipo FB5079.1 (*S. commersoni*) mostraron rendimiento de tubérculo menor al control Tacna. Los cultivares nativos que presentaron el mayor y menor rendimiento fueron Waca qorota y Sakampaya, respectivamente.

Conclusiones

Mediante los estudios *in vitro*, se determinó que la variable longitud de raíz más larga permite detectar diferencias en la respuesta de genotipos de papa expuestos a estrés hídrico, especialmente utilizando 4% de PEG como estresante osmótico. Así los cultivares que mejor representan el nivel de tolerancia a estrés son Lucki-707017, G-7, Waca qorota, Criolla, Sani imilla, Wayru, SA-2563, Karasapa coillo, Qompis y Pali-706068, ya que su valor de referencia fue mayor o igual al control tolerante (Tacna); mientras que los genotipos susceptibles que se mostraron igual o por debajo del control fueron 703617, Wila palta yari, Wila anckanche, Atlantic, Hancko anckanchi. Los resultados obtenidos demostraron que mediante el uso de técnicas *in vitro* fue posible la evaluación de la respuesta a estrés hídrico en forma masiva de un diverso grupo de cultivares nativos de papa de la región Andina.

Los ensayos en tubos de PVC mostraron de manera consistente para casi todas las variables que el genotipo Qompis se comportó como una variedad tolerante a sequía en invernadero. Se considera que este cultivar nativo sea altamente recomendado para afrontar los riesgos del cambio climático y que se utilice como control en experimentos posteriores para tolerancia a sequía ya sea en invernadero o campo en zonas alto Andinas.

Darwin Potato, en condiciones de invernadero, resultó susceptible a sequía tal como se esperaba debido a su procedencia de zonas húmedas de Chiloé.

La variable longitud de raíz según Newman se mostró como una variable potencial para la selección de genotipos tolerantes a sequía mediante la metodología de tubos de PVC en invernadero.

Los métodos aplicados permitieron desarrollar un método sencillo de selección para tolerancia a papa. Los experimentos para confirmar la eficiencia de la selección *in vitro* demostraron que existe una probabilidad de correspondencia de la respuesta *in vitro* vs invernadero del 86%.

Los estudios permitieron seleccionar y verificar la respuesta a sequía de 21 cultivares, encontrándose que la producción de los cultivares nativos Waca qorota, Lucki, Hancko ankanchi, Yana runa, Yalka qoillu y Sakampaya, así como el genotipo FP5079.1 de la especie silvestre *S. commersoni*, y los cultivares mejorados H-1, Costanera, Darwin Potato, 394881.8, y Desiree, no es afectada por sequía de 15 días bajo condiciones de

Huancayo. A la vez, los cultivares nativos Hancko ankanchi y Sakampaya, así como el genotipo de *S. commersoni* FP5079.1, y las mejoradas 394881.8 y Desiree demostraron ser más tolerantes porque su rendimiento de tubérculos tampoco fue afectado por sequía de 30 días. Los cultivares que mostraron mayor capacidad de producción de tubérculos y a la vez mostraron características de tolerancia, como Waca qorota, Karasapa coillo, Ccompis y Choquepito, así como las mejoradas 501065.1 y Tacna sería altamente recomendadas para ser integradas en programas para contrarrestar los riesgos del cambio climático en las zonas altoandinas de Perú y dentro de estrategias de agricultura sustentable.

Referencias

- Altman A., 2003. From plant tissue culture to biotechnology: Scientific revolution, abiotic stress tolerance and forestry. *In vitro cell Dev. Biol.-Plant*, 39: 75-84
- Arvin M.J., Donnelly D. J. (2008). Screening potato cultivars and wild species to abiotic stresses using electrolyte leakage bioassay. *J. Agric. Sci. Tech.*, 10 pp. 33-42.
- Bailey, R.J. 2000. Practical use of soil water measurement in potato production. In: Haverkort, A.J. and MacKerron, D.K.L. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Pers., pp. 206-218.
- Beukema, H.P. and Van der Zaag, D. E. 1979. Potato improvement. Some factors and facts. International Agricultural Center. Wageningen, The Netherlands, 224 p.
- Blum, L. K. 1993. *Spartina alterniflora* root dynamics in a Virginia marsh. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 102: 169–178.
- Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2005, 56, 1159–1168
- Bray, E.A. 1997. Plant response to water deficit. *Trends in plant science*, 2:48-54
- Burke, J.J., 2007. Evaluation of source leaf responses to water-deficit stresses in cotton using a novel stress bioassay: *Plant Physiology*, v. 143, p. 108
- Chujoy E., Cabello R. 2010. Phenotyping potato germplasm for drought tolerance. (Working paper) Lima (Peru), CIP, 2010. 85 p.
- Dobranski J., Magyar-Tabori K., Takacs-Hudak, A. (2003). Growth and developmental responses of potato to osmotic stress under in vitro conditions. *Acta Biologica Hungarica* 54, pp. 365-372.
- Donnelly D.J., Coleman W.K., Coleman S.E. 2003. Potato microtubers production and performance: a review *Am J. Potato Res* 80:848-852.
- Egúsquiza, B. R. 2000. La Papa: Producción, Transformación y Comercialización. Primera edición. Lima, Perú, 192 p.
- Espinoza N.O., Estrada R., Silva-Rodríguez D., Tovar P., Lizarraga R., Dodds J.H. 1986. The potato: a model crop plant tissue culture. *Outlook agric* 15:21-26
- Gabriel, J.; Porco, P.; Angulo, A.; Magne, J.; Mamani, P. 2011. Resistencia genética de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) a sequía en invernadero. Fundación PROINPA.
- Gopal J, Iwama. 2007. In vitro screening of potato against water-stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. *Plant Cell Reports*, 26 (5), pp. 693-700.
- Harris, P.M. 1978. The potato crop production. The Scientific Basis for Improvement. Ed. Chapman and Hall, London, 730 p.
- Harris, P.M. 1992. The influence of genotype and water stress on the nitrogen requirement of the potato crop. Conference: Meeting of the Section Physiology of the EAPR. Le Conquet (France). 24- 28 Jun 1991. *Potato Research (Netherlands)*, 35(1):72.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity: *Annual Review of Plant Biology*, v. 51, p. 463-499
- Haverkort A, J., van de Waart M., Bodlaenker K. B. A. (1990) The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. *Potato Res.* 33: 89-96

Iwama K, J Y. 2006. Abiotic stresses. In: Gopal J, Paul Khurana SM (eds) Handbook of potato production improvement and post harvest management., vol pp 231–278. Food Product Press, Iwama K, Nakaseko, New York.

Jelihovschi E.G. y Faria J. C. 2009. ScottKnott: A package for performing the Scott-Knott clustering Algorithm in R. the R journal. ISSN 2073-4859 <http://r-br.2285057.n4.nabble.com/attachment/3686547/1/SKsegundaVersao.pdf>

Jensen, C.R., Jacobsen, S.-E., Andersen, M.N., Nuñez, N., Andersen, S.D., Rasmussen, L. and Mogensen, V.O. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy*, 13(1):11-25.

Kumar SG, Mattareddy A, Sudhakar C. 2003. NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with contrasting salt tolerance. *Plant Sci* 165:1245–1251.

Lahlou O., Ledent J.F. 2005. Roots mass and depths, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. *Eur J. Agron* 103: 159-173

Levy D 1983a. Varietal differences in the response of potatoes to repeated short periods of water stress in hot climates. 1. Turgor maintenance and stomatal behaviour. *Potato Res.* 26, 303-313.

Mane S. P., Vasquez C., Ulanov A., Schafleitner R., Tincopa L. et al. (2008). Molecular and physiological adaptation to prolonged drought stress in the leaves of two Andean potato genotypes. *Functional Plant Biology*, 35 (8), pp. 669-688 .

Murashige T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *J. Physiol Plant*, 15, pp. 431 – 497.

Newman, E.I. 1974. Root and soil water relations, In: *The plant root and its environment* (ed. E. W. Carson), pp. 363-440. Charlottesville: Univ. Press Virginia.

Panta A., Maza C., Condori B., Tay, D. 2009. Evaluation of native potato response to salinity. Lima (Peru): CIP, 2009. 12 p. Working paper.

Ranilla P., Rauro B.G., Delre P., Dicandilo M., Mandilino G. 1997. Microtubers and minitubers productions and field performance compared with normal tubers. *Potato Res* 37:183-391.

Roca W.M., Bryan J.E., Roca M.R. 1975. Tissue culture for international transfer of potato genetics resources. *Am Potato J* 55:1-10

Sakhanokho, H.F. y Kelley, R.Y., 2009. Influence of salicylic acid on in vitro propagation and salt tolerance in *Hibiscus acetosella* and *Hibiscus moscheutos* (cv 'Luna Red'). *Afr. J. Biotechnol.* 8, 1474–1481.

Salter, P.J. and Goode, J.E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks, England*, 246 p.

Schafleitner R., Gutierrez R., Espino R., Gaudin A., Pérez J., Martínez M., Domínguez A., Tincopa L., Alvarado C., Numberto G., Bonierbale M. 2007. Field Screening for Variation of Drought Tolerance in *Solanum tuberosum* L. by Agronomical, Physiological and Genetic Analysis. *Potato Research* 50 (1):71-85.

Schafleitner R., Gutierrez R.O., Gaudin A., Alvarado C.A., Numberto G., Tincopa R., Bolivar L.A., Delgado F.M., Simon R., Bonierbale M. 2007. Capturing candidate drought tolerance traits in two native Andean potato clones by transcription profiling of field grown plants under water stress. *Plant Physiol Biochem* 45 (9):673-690.

Schafleitner R. 2009. Growing more potato with less water. *Tropical plant biol* 2: 111-121

Scott A.J. and Knott M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30, 507 – 512.

Steckel J R A and Gray D 1979. Drought tolerance in potatoes. *J. Agric. Sci., Camb.* 92, 375-381.

Suharjo U. K. (2004). Use of polyethylene glycol (PEG) 8000 for rapid screening of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes for water stress tolerance. PhD thesis, Department of Plant Science, The University of Maine, USA, 124 p.

- Raia M.K, Kalia R.K., Singha R., Gangola M.P., Dhawana A.K. 2011. Developing stress tolerant plants through *in vitro* selection. An overview of the recent progress. Environmental and Experimental Botany 71: 89-98
- Thuiller W. 2010. Biodiversity - Climate change and the ecologist Biodiversity. Nature collection pag 26
- Vendeuvre E. 2010. In vitro screening for water stress tolerance in cultivated potato germplasm (*Solanum* spp.), Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias. Universidad Agro campus- Francia.
- Witernans, J.F.G.M. y De Mots, A. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in ethanol. Biochim. Biophys. Acta., 109: 448-453.
- Zhang Y., Donnelly D. J. (1997). In vitro bioassays for salinity tolerance screening of potato. Potato Research, 40 (3), pp. 285-295.

ANEXOS

Tablas y Figuras

Tabla 1. Cultivares de papa seleccionados para estudio de estrés hídrico *in vitro* indicando criterios de selección.

Nombre del cultivar y Num.CIP	Especie acronimo*	País de origen	Localidad, elevación (m)	Estado sanitario CIP	Criterio de selección	Referencia
Sullu (701997)	SOLADG	Perú	Cusco, Acopia, 3700	HS0	Tolerante a sequía	Mane et al., 2008
Qompis (700921)	SOLADG	Perú	Cusco, Ccatca, 3700	HS2	Moderadamente tolerante a sequía	Mane et al., 2008
Q'eq'orani o Azul Sonq'o (703287)	SOLSTN	Perú	Cusco, Ccorau (Pisaq), 3450	HS2	Susceptible a sequía	Mane et al., 2008
Abajeña (705884)	SOLADG	Argentina	Salta, Santa Cruz, 3100	HS2	Tolerante a PVS2 26% de material seca	Base de datos CIP
HHCH-4231 (702270)	SOLADG	Bolivia	La Paz, Chilcapampa Km 30 Achacachi – Sorata, 3600	HS2	Tolerante a PVS2 28% de material seca	Base de datos CIP
Tika Waman (705829)	SOLCHA	Perú	Cusco, Comunidades de Colquepata	HS2		Chujoy & Cabello
HJT 5537 (703311)	SOL	Perú	Huancavelica, Yacuraquina Km 10 Acobamba-paucara, 3900	HS2	Tolerante a PVS2	Base de datos CIP
Revolución (720043)	SOL	Perú		HS2	Susceptible a sequía	Base de datos CIP
Waca Qorota (702543)	SOLCUR	Bolivia		HS2	Tolerante a salinidad <i>in vitro</i>	Panta A. et al., 2009
Kaisalla (704234)	SOLJUJ	Bolivia		HS2	Tolerante a PVS2 y salinidad <i>in vitro</i>	Panta A. et al., 2009

*SOLADG: *Solanum tuberosum* subsp. *andigena*; SOLSTN: *S. stenotomum*; SOLCHA: *S. chaucha*; SOL: *Solanum* hybrid; SOLCUR: *S. curtilobum*; SOLJUJ: *S. juzepczukii*

Tabla 2.- Genotipos seleccionados para la evaluación en invernadero con la metodología de macetas y la metodología de tubos de PVC.

Número CIP	País de origen	Nombre de la accesión	Especie	Estado Biológico-CIP	Selección ^{a,b}	Criterio de selección
704229	Bolivia	Jancko Anckanchi	<i>S. ajanhuiri</i>	Native	SS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
702650	Bolivia	Wila Yari	<i>S. ajanhuiri</i>	Native	SS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
761102	Uruguay	FB 5079.1	<i>S. comersoni</i>	Wild	TF	Tolerante a heladas. ⁽¹⁾
704161	Argentina	Luqui Morada	<i>S. curtilobum</i>	Native	PTF	Potencialmente tolerante a heladas. ^(1,2)
702282	Bolivia	Choquepito	<i>S. curtilobum</i>	Native	TS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
707017	Bolivia	Lucki (HJA 1326)	<i>S. curtilobum</i>	Native	TS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
707025	Bolivia	Karasapa Coillo	<i>S. curtilobum</i>	Native	TS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
702543	Bolivia	Waca Corota	<i>S. curtilobum</i>	Native	TS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
703760	Bolivia	Yalka Coillu	<i>S. stenotomum</i> subsp. <i>stenotomum</i>	Native	TD	Potencialmente resistente a PEG 4%, en experimentación actual de <i>in vitro</i> ⁽¹⁾
702611	Bolivia	Sakampaya	<i>S. stenotomum</i> subsp. <i>stenotomum</i>	Native	TD	Potencialmente resistente a PEG 4%, en experimentación actual de <i>in vitro</i> ⁽¹⁾
704987	Bolivia	Yana Runa	<i>S. tuberosum</i> subsp. <i>andigena</i>	Native	MTD ⁽¹⁾	Evaluada a sequía en campo ^(1,2)
700921	Perú	Ccompis	<i>S. tuberosum</i> subsp. <i>andigena</i>	Native	TD ⁽²⁾	Referido dentro de sus criterios de selección. ^(1,2)
703254	Chile	Darwin Potato	<i>S. tuberosum</i> subsp. <i>tuberosum</i>	Native		Proveniente de la isla de Chiloé (zona húmeda). ^(1,2)
379706.27	CIPHQ	Costanera	<i>Solanum</i> spp.	Imp Variety	MTD ⁽³⁾	Tratamiento de sequía de 40 días. ⁽¹⁾

Número CIP	País de origen	Nombre de la accesión	Especie	Estado Biológico-CIP	Selección ^{a,b}	Criterio de selección
800048	Holanda	Desiree	<i>Solanum spp.</i>	Imp Variety	TS ⁽²⁾	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2)
376181.5	CIPHQ	H-1	<i>Solanum spp.</i>	BredLine	MTD ⁽⁴⁾	Base de datos del CIP. ⁽¹⁾
390478.9	CIPHQ	Tacna	<i>Solanum spp.</i>	Imp Variety	TSD ^(2,4)	Evaluado a salinidad en <i>in vitro</i> a 0.08M de NaCl. ^(1,2) y resistente a sequía en base de datos del CIP. ^(1,2)
394881.8	CIPHQ	95.118	<i>Solanum spp.</i>	AdvBred	SF ⁽⁴⁾	Parental masculino susceptible a heladas (Base de datos del CIP).
397077.16	CIPHQ	WA.077/320.16	<i>Solanum spp.</i>	BredLine	ND	Para evaluación ⁽³⁾
501065.1	CIPHQ	CG401L-41	<i>Solanum spp.</i>	TPS Parentals	ND	Para evaluación ⁽¹⁾

Selección: MTD, Moderadamente tolerante a sequía; ND, No data; SF, Susceptible a heladas; SS, Susceptible a salinidad; PTF, Potencialmente tolerante a heladas; TD, Tolerante a Sequía, TF, Tolerante a heladas; TS, Tolerante a salinidad; TSD, Tolerante a salinidad y sequía.

Referencia bibliográfica; (1)Chujoy y Cabello, 2010.; (2)Panta *et al*, 2009; (3) Schafleitner *et al*, 2007. (4)Base de datos del Centro Internacional de la Papa, Revisada al 05/18/2012.

Table 3. Correlación entre variables de crecimiento y desarrollo de plántulas de papa cultivadas *in vitro* a partir de segmentos uninodales. Datos de 10 genotipos y 6 concentraciones de PEG 80000.

	Numero de raíces	Longitud de raíz	Alto de planta	PPF	PSF	PFR	PSR	MSF	IRP	PSP
Número de raíces	1									
Longitud de raíz	0.49	1								
Alto de planta	0.69	0.71	1							
PPF	0.51	0.76	0.83	1						
PSF	0.43	0.73	0.68	0.93	1					
PFR	0.57	0.83	0.84	0.86	0.71	1				
PSR	0.50	0.65	0.60	0.82	0.80	0.80	1			
MSF	-0.55	-0.58	-0.61	-0.50	-0.32	-0.62	-0.37	1		
IRP	0.11	-0.11	-0.18	-0.02	0	-0.03	0.28	0.19	1	
PSP	0.46	0.72	0.68	0.94	0.98	0.77	0.91	-0.35	0.09	1

PPF: peso fresco de follaje, peso seco de follaje, PFR: peso fresco de raíz, PSR: peso seco de raíz, MSF: materia seca de follaje, IRP: índice de materia seca de raíz/follaje, MSP: materia seca de plántula.

Tabla 4. Efecto de 10 genotipos (G) y 6 dosis de PEG 8000 en 10 variables de desarrollo de plántulas *in vitro*

Análisis de variancia	Num Raíz	Largo Raíz	Alto planta	PPF	PSF	PFR	PSR †	MSF	IRF	MSP		
											Genotipo	***
PEG	***	***	***	***	***	***	***	***	**	***		
G x PEG	NS	NS	NS	**	NS	***	NS	NS	NS	NS		
Genotipo	TIK	2.8 abc	11.6 a	14.5 a	12.1	1.5 a	6.1	0.6 abc	15.1 b	0.3 b	2.0 a	
	SUL	2.8 abc	10.7 a	11.5 ab	10.8	1.3 ab	6.2	0.6 abc	16.6 b	0.4 ab	1.9 ab	
	HHC	3.3 ab	9.0 a	17.3 a	13.1	1.1 bc	8.5	0.8 a	14.9 b	0.5 a	1.9 abc	
	REV	1.8 de	10.9 a	7.4 b	10	1.1 abc	6.5	0.8 ab	15.2 b	0.4 ab	1.8 abcd	
	CCO	2.4 cd	9.9 a	10.2 ab	8.9	1.5 a	5.0	0.5 abc	17.4 ab	0.3 b	1.7 ab	
	ABA	2.2 cd	9.9 a	7.9 b	7.8	0.9 cd	5.5	0.5abc	14.8 b	0.5 a	1.3 cde	
	HJT	1.3 e	9.2 a	6.7 b	5.5	0.9 bc	2.6	0.3 c	22.8 a	0.3 b	1.2 bcd	
	QEQ	3.6 a	9.3 a	14.4 a	10.5	0.8 cd	4.7	0.4 bc	14.7 b	0.3 b	1.1 cde	
	KAI	2.7 bc	8.1 a	11.4 ab	7.3	0.8 cd	3.6	0.4 bc	15.9 b	0.3 b	1.1 de	
	WAC	1.8 de	9.5 a	7.3 b	5.5	0.6 d	5.0	0.4 c	14.9 b	0.3 b	0.8 e	
PEG	8000	0	3.4 a	23.9 a	26.88 a	30.8	2.7 a	16.4	1.1 a	9.4 c	0.3 ab	3.7 a
	(%)	1	2.9 b	12.1 b	13.36 b	9.2	1.2 b	6.8	0.5 b	14.3 b	0.4 ab	1.7 b
		2	2.8 b	8.2 c	9.53 bc	6.1	0.9 bc	4.2	0.4 bc	16.3 ab	0.4 ab	1.3 bc
		4	2.4 bc	7.3 c	7.94 cd	4.8	0.7 cd	3.8	0.3 c	17.3 ab	0.4 ab	1.0 cd
		8	2.0 c	4.9 d	5.30 de	3.3	0.6 de	2.6	0.3 c	19.7 a	0.4 a	0.9 d
		10	1.3 d	2.4 e	3.05 e	2.1	0.4 e	1.3	0.16	19.7 a	0.2 b	0.6 e
	CV (%)		30.4	23.0	27.3	21.0	21.0	20.7	30.7	31.5	48.6	21.2

PPF: peso fresco de follaje, peso seco de follaje, PFR: peso fresco de raíz, PSR: peso seco de raíz, MSF: materia seca de follaje, IRP: índice de materia seca de raíz/follaje, MSP: materia seca de plántula.

*** Significancia al P < 0.1 %; ** Significancia al P < 1 %; NS: nosignificancia

† 10% PEG no fue incluido en el análisis porque contenía muchos valores nulos

Las mismas letras en una columna significa que los valores no son significativamente diferentes al P≤0.05, mediante la prueba de comparación de medias HSD

Tabla 5. Análisis estadístico de la respuesta de genotipos de papa sometidos a estrés hídrico bajo condiciones de in vitro (utilizando PEG), data proviene de 2 experimentos.

Variable	Dosis de PEG	Exp.	CV	Test de normalidad Shapiro	Test de homogeneidad Bartlett	Pr (F)	
Índice Número de Raíz	4	1	26.44	No significativo	Significativo	3.84E-14	***
Índice Número de Raíz	4	2	23.41	Significativo	Significativo	1.60E-14	***
Índice Número de Raíz	8	1	36.94	No significativo	Significativo	2.89E-13	***
Índice Número de Raíz	8	2	28.97	Significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Raíz más Largo	4	1	30.45	No significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Raíz más Largo	4	2	30.79	Significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Raíz más Largo	8	1	47.90	Significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Raíz más Largo	8	2	47.49	Significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Tallo	4	1	24.73	No significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Tallo	4	2	25.71	Significativo	Significativo	< 2.2e-16	***
Longitud de Tallo	8	1	30.86	Significativo	Significativo	2.20E-16	***
Longitud de Tallo	8	2	25.64	Significativo	Significativo	< 2.2e-16	***

Tabla 6. Análisis de agrupamiento para índice relativo al control de la longitud de la raíz mas larga (LRMLr) por Scott y Knott (SK).

Dosis 4% Exp 1					Dosis 4% Exp 2				
Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta	Cip number	Nombre	Media	SK (5%)	Respuesta
707017	Lucki	0.992	a	Tolerantes	704365	Unknown	0.968	a	Tolerante
279023.137	G-7	0.966	a	Tolerantes	707238	Sani imilla	0.952	a	Tolerante
704365	Unknown	0.952	a	Tolerantes	707017	Lucki	0.944	a	Tolerante
702543	Waca qorota	0.936	a	Tolerantes	704161	Luqui morada	0.906	a	Tolerante
703457	Criolla	0.922	a	Tolerantes	704812	Wila pali	0.902	a	Tolerante
706068	Pali	0.912	a	Tolerantes	279023.137	G-7	0.846	a	Tolerante
707238	Sani imilla	0.912	a	Tolerantes	700234	SA-2563	0.844	a	Tolerante
705454	Wayru	0.854	a	Tolerantes	706068	Pali	0.842	a	Tolerante
700234	SA-2563	0.84	a	Tolerantes	705454	Wayru	0.834	a	Tolerante
707025	Karasapa coillo	0.838	a	Tolerantes	704828	Wila imilla	0.83	a	Tolerante
703502	Rosita	0.832	a	Tolerantes	702543	Waca corota	0.822	a	Tolerante
702270	Unknown	0.796	a	Tolerantes	707025	Karasapa coillo	0.818	a	Tolerante
700921	Qompis	0.79	a	Tolerantes	701559	Almidona clucel	0.814	a	Tolerante
704812	Wila pali	0.784	a	Tolerantes	700921	Qompis	0.808	a	Tolerante
704987	Yana runa	0.78	a	Tolerantes	704783	Pali	0.796	a	Tolerante
704086	Yana anku	0.778	a	Tolerantes	704865	Holandesa	0.796	a	Tolerante
702282	Choquepito	0.772	a	Tolerantes	703457	Criolla	0.79	a	Tolerante
704783	Pali	0.762	a	Tolerantes	702282	Choquepito	0.788	a	Tolerante
705234	Unknown	0.762	a	Tolerantes	704753	Pali	0.782	a	Tolerante
704143	Roja ojosa	0.744	a	Tolerantes	702445	Piñaza	0.778	a	Tolerante
701641	Yana pepino	0.736	b	Tolerantes	704814	Kellu culi	0.776	a	Tolerante
704865	Holandesa	0.736	b	Tolerantes	704104	Tarmeña roja	0.774	a	Tolerante
705191	Unknown	0.732	b	Tolerantes	706191	Cuchi chucchan	0.734	a	Tolerante
703583	Unknown	0.726	b	Tolerantes	703502	Rosita	0.724	b	Tolerante
706191	Cuchi chucchan	0.72	b	Tolerantes	705191	Unknown	0.712	b	Tolerante
704828	Wila imilla	0.716	b	Tolerantes	703583	Unknown	0.684	b	Tolerante
707135	Puka durasnillo	0.698	b	Tolerantes	704864	Koli	0.672	b	Tolerante
704161	Luqui morada	0.698	b	Tolerantes	706728	Puqya	0.668	b	Tolerante
705088	Chava negra	0.694	b	Tolerantes	702270	Unknown	0.664	b	Tolerante
702535	Sipancachi	0.692	b	Tolerantes	705234	Unknown	0.658	b	Tolerante
702445	Piñaza	0.68	b	Tolerantes	700347	SS-2613	0.652	b	Tolerante
702514	Chata blanca Ojos morados	0.67	b	Tolerantes	702535	Sipancachi	0.648	b	Tolerante
706728	Puqya	0.65	b	Tolerantes	704086	Yana anku	0.64	b	Tolerante
700347	SS-2613	0.642	b	Tolerantes	705940	Larga	0.632	b	Tolerante
705536	Duraznillo	0.636	b	Tolerantes	704987	Yana runa	0.632	b	Tolerante
800048	Desiree	0.632	b	Tolerantes	704591	Yana p'utis	0.632	b	Tolerante
704864	Koli	0.624	b	Tolerantes	706724	Puca allqu	0.63	b	Tolerante
701559	Almidona clucel	0.622	b	Tolerantes	705088	Chava negra	0.62	b	Tolerante
704440	Venancia	0.618	b	Tolerantes	701641	Yana pepino	0.618	b	Tolerante
706724	Puca allqu	0.614	b	Tolerantes	G-2218	Rubi Roja	0.618	b	Tolerante
761102	FB 5079.1	0.61	b	Tolerantes	761092	FB 4021C1.12	0.618	b	Tolerante
700348	Unknown	0.6	b	Tolerantes	703759	Chiar imilla	0.612	b	Tolerante
704104	Tarmeña roja	0.598	b	Tolerantes	705223	Capiro	0.61	b	Tolerante
720089	Sierra volcan	0.598	b	Tolerantes	702514	Chata blanca ojos morados	0.606	b	Tolerante
704814	Kellu culi	0.596	b	Tolerantes	704262	Puca botijuela	0.596	b	Tolerante
390478.9	Tacna	0.594	b	Tolerantes	703311	Unknown	0.596	b	Tolerante
704753	Pali	0.592	b	Semi Toler.	707071	Pitawayaka	0.592	b	Tolerante
704058	Leona	0.592	b	Semi Toler.	800048	Desiree	0.59	b	Tolerante
703905	Huata colorada	0.586	b	Semi Toler.	704556	Pukuchu	0.586	b	Tolerante
705829	Tika waman	0.584	b	Semi Toler.	703369	Ojo de buey	0.586	b	Tolerante
704556	Pukuchu	0.582	b	Semi Toler.	720089	Sierra volcan	0.58	b	Tolerante
705940	Larga	0.58	b	Semi Toler.	703310	Linlesh	0.578	b	Tolerante
703311	Unknown	0.57	b	Semi Toler.	704143	Roja ojosa	0.572	b	Tolerante
707071	Pitawayaka	0.57	b	Semi Toler.	703365	Holandesa	0.564	b	Tolerante
704234	Kaisalla	0.556	b	Semi Toler.	704440	Venancia	0.548	c	Tolerante
705884	Abajeña	0.552	b	Semi Toler.	501065.1	CG401L-4.1	0.548	c	Tolerante

501065.1	CG401L-4.1	0.544	c	Semi Toler.	761102	FB 5079.1	0.534	c	Tolerante
761092	FB 4021C1.12	0.542	c	Semi Toler.	704058	Leona	0.522	c	Tolerante
703690	Unknown	0.534	c	Semi Toler.	704019	P'asña papa	0.518	c	Tolerante
705223	Capiro	0.526	c	Semi Toler.	703690	Unknown	0.508	c	Tolerante
720088	Achirana-INTA	0.516	c	Susceptible	705536	Duraznillo	0.508	c	Tolerante
376181.5	H-1	0.514	c	Susceptible	702788	Unknown	0.508	c	Tolerante
704591	Yana p'utis	0.504	c	Susceptible	704234	Kaisalla	0.506	c	Tolerante
703369	Ojo de buey	0.5	c	Susceptible	703008	Yana mataj	0.502	c	Tolerante
703759	Chiar imilla	0.494	c	Susceptible	700348	Unknown	0.49	c	Tolerante
G-2218	Rubi roja	0.494	c	Susceptible	707135	Puka durasnillo	0.478	c	Tolerante
705336	Calvache	0.49	c	Susceptible	706727	Duraznillo	0.466	c	Tolerante
703008	Yana mataj	0.446	c	Susceptible	397077.16	WA.077/320.16	0.46	c	Tolerante
702788	Unknown	0.446	c	Susceptible	376181.5	H-1	0.45	c	Tolerante
704262	Puca botijuela	0.438	c	Susceptible	705336	Calvache	0.45	c	Tolerante
703365	Holandesa	0.428	c	Susceptible	762451	URY 1	0.444	c	Tolerante
704148	Alcona	0.416	c	Susceptible	390478.9	Tacna (1)	0.44	c	Tolerante
700908	Hueqlla	0.414	c	Susceptible	704924	Sanko Imilla	0.44	c	Semi Toler.
703310	Linlesh	0.414	c	Susceptible	705884	Abajeña	0.434	c	Semi Toler.
705812	Bogotana	0.396	c	Susceptible	705829	Tika wuaman	0.416	c	Semi Toler.
706727	Duraznillo	0.392	c	Susceptible	720088	Achirana-INTA (2)	0.41	c	Susceptible
704924	Sanko imilla	0.39	c	Susceptible	703905	Huata Colorada	0.406	c	Susceptible
704019	P'asña papa	0.384	c	Susceptible	704327	Color unkuña	0.394	c	Susceptible
703456	Unknown	0.37	c	Susceptible	704148	Alcona	0.37	c	Susceptible
704815	Wila anckanche	0.348	d	Susceptible	700908	Hueqlla	0.338	d	Susceptible
703651	Sakampaya	0.336	d	Susceptible	704745	Lucki	0.338	d	Susceptible
705490	Muru warkatina	0.322	d	Susceptible	705812	Bogotana	0.328	d	Susceptible
704745	Lucki	0.29	d	Susceptible	703456	Unknown	0.292	d	Susceptible
397077.16	WA.077/320.16	0.256	d	Susceptible	705490	Muru warkatina	0.278	d	Susceptible
704233	Wila palta yari	0.23	d	Susceptible	704047	Canastilla	0.27	d	Susceptible
703617	Unknown	0.224	d	Susceptible	703617	Unknown	0.268	d	Susceptible
704047	Canastilla	0.222	d	Susceptible	703651	Sakampaya	0.222	d	Susceptible
762451	URY 1	0.204	d	Susceptible	704815	Wila anckanche	0.22	d	Susceptible
704327	Color unkuña	0.2	d	Susceptible	800827	Atlantic	0.182	d	Susceptible
704229	Hancko anckanchi	0.174	d	Susceptible	704229	Hancko anckanchi	0.14	d	Susceptible
800827	Atlantic	0.12	d	Susceptible	704233	Wila palta yari	0.126	d	Susceptible
Dosis 8% Exp 1					Dosis 8% Exp 2				
Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta	Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta
707017	Lucki	0.774	a	Tolerante	707238	Sani imilla	0.8	a	Tolerante
702543	Waca qorota	0.73	a	Tolerante	700921	Ccompis	0.73	a	Tolerante
703457	Criolla	0.71	a	Tolerante	706191	Cuchi chucchan	0.71	a	Tolerante
707238	Sani imilla	0.682	a	Tolerante	704783	Pali	0.704	a	Tolerante
706724	Puca allqu	0.678	a	Tolerante	704828	Wila imilla	0.654	a	Tolerante
704143	Roja ojosa	0.612	a	Tolerante	707017	Lucki	0.642	a	Tolerante
706068	Pali	0.604	a	Tolerante	703457	Criolla	0.604	a	Tolerante
704365	Unknown	0.6	a	Tolerante	700234	SA-2563	0.582	a	Tolerante
761102	FB 5079.1	0.584	a	Tolerante	704753	Pali	0.576	a	Tolerante
700234	SA-2563	0.576	a	Tolerante	705454	Wayru	0.568	a	Tolerante
704783	Pali	0.57	a	Tolerante	704019	P'asña papa	0.54	a	Tolerante
700921	Qompis	0.55	a	Tolerante	704865	Holandesa	0.538	a	Tolerante
705454	Wayru	0.542	a	Tolerante	702543	Waca qorota	0.536	a	Tolerante
706191	Cuchi chucchan	0.538	a	Tolerante	704864	Koli	0.534	a	Tolerante
704828	Wila imilla	0.532	a	Tolerante	279023.137	G-7	0.522	a	Tolerante
705536	Duraznillo	0.528	a	Tolerante	703502	Rosita	0.516	a	Tolerante
707135	Puka durasnillo	0.524	a	Tolerante	704812	Wila pali	0.49	b	Tolerante
279023.137	G-7	0.524	a	Tolerante	700347	SS-2613	0.482	b	Tolerante
705234	Unknown	0.522	a	Tolerante	761102	FB 5079.1	0.482	b	Tolerante
704864	Koli	0.478	b	Tolerante	704814	Kellu culi	0.478	b	Tolerante
701559	Almidona clucel	0.46	b	Tolerante	707025	Karasapa coillo	0.478	b	Tolerante
761092	FB 4021C1.12	0.456	b	Tolerante	707071	Pituwayaka	0.476	b	Tolerante
702282	Choquepito	0.454	b	Tolerante	702282	Choquepito	0.476	b	Tolerante
701641	Yana pepino	0.444	b	Tolerante	761092	FB 4021C1.12	0.47	b	Tolerante
706728	Puqya	0.444	b	Tolerante	706724	Puca allqu	0.47	b	Tolerante
G-2218	Rubi roja	0.438	b	Tolerante	706068	Pali	0.468	b	Tolerante
703905	Huata colorada	0.434	b	Tolerante	703583	Unknown	0.464	b	Tolerante
704812	Wila pali	0.432	b	Tolerante	704365	Unknown	0.462	b	Tolerante
704753	Pali	0.43	b	Tolerante	G-2218	Rubi roja	0.444	b	Tolerante
702514	Chata blanca Ojos morados	0.424	b	Tolerante	705191	Unknown	0.444	b	Tolerante
700347	SS-2613	0.422	b	Tolerante	703008	Yana mataj	0.436	b	Tolerante
705223	Capiro	0.408	b	Tolerante	704161	Luqui morada	0.424	b	Tolerante
703583	Unknown	0.406	b	Tolerante	706728	Puqya	0.424	b	Tolerante
704987	Yana runa	0.3994	b	Tolerante	704058	Leona	0.418	b	Tolerante
704234	Kaisalla	0.398	b	Tolerante	705940	Larga	0.416	b	Tolerante
707025	Karasapa coillo	0.396	b	Tolerante	704143	Roja ojosa	0.412	b	Tolerante
702270	Unknown	0.392	b	Tolerante	704440	Venancia	0.406	b	Tolerante
704865	Holandesa	0.382	b	Tolerante	720089	Sierra volcan	0.398	b	Tolerante
705940	Larga	0.378	b	Tolerante	704591	Yana p'utis	0.396	b	Tolerante
707071	Pituwayaka	0.376	b	Tolerante	390478.9	Tacna (1)	0.384	b	Tolerante
706727	Duraznillo	0.374	b	Tolerante	703690	Unknown	0.38	b	Semi Toler.
390478.9	Tacna (1)	0.364	c	Tolerante	705234	Unknown	0.374	b	Semi Toler.
705812	Bogotana	0.358	c	Semi Toler.	701559	Almidona clucel	0.374	b	Semi Toler.
704440	Venancia	0.356	c	Semi Toler.	705223	Capiro	0.372	b	Semi Toler.
703502	Rosita	0.346	c	Semi Toler.	501065.1	CG401L-4.1	0.368	b	Semi Toler.
720089	Sierra volcan	0.344	c	Semi Toler.	707135	Puka durasnillo	0.358	b	Semi Toler.
703310	Linlesh	0.336	c	Semi Toler.	702514	Chata blanca ojos morados	0.356	b	Semi Toler.
704058	Leona	0.334	c	Semi Toler.	701641	Yana Pepino	0.356	b	Semi Toler.
703690	Unknown	0.3336	c	Semi Toler.	704234	Kaisalla	0.356	b	Semi Toler.
705490	Muru warkatina	0.33	c	Semi Toler.	704556	Pukuchu	0.354	b	Semi Toler.
705088	Chava negra	0.324	c	Semi Toler.	704262	Puca botijuela	0.348	b	Semi Toler.
702788	Unknown	0.324	c	Semi Toler.	705536	Duraznillo	0.34	b	Semi Toler.
704924	Sanko imilla	0.316	c	Semi Toler.	703310	Linlesh	0.338	b	Semi Toler.
705191	Unknown	0.314	c	Semi Toler.	703905	Huata colorada	0.33	c	Semi Toler.
703759	Chiar imilla	0.314	c	Semi Toler.	702535	Sipanacachi	0.322	c	Semi Toler.
702445	Piñaza	0.31	c	Semi Toler.	704086	Yana anku	0.32	c	Semi Toler.
703369	Ojo de buey	0.31	c	Semi Toler.	706727	Duraznillo	0.318	c	Semi Toler.
704104	Tarmeña roja	0.306	c	Semi Toler.	703759	Chiar imilla	0.278	c	Semi Toler.

704262	Puca botijuela	0.306	c	Semi Toler.	702788	Unknown	0.27	c	Semi Toler.
501065.1	CG401L-4.1	0.302	c	Semi Toler.	703369	Ojo de buey	0.27	c	Semi Toler.
704161	Luqui morada	0.288	c	Semi Toler.	704924	Sanko imilla	0.268	c	Semi Toler.
704591	Yana P'utis	0.272	c	Semi Toler.	702270	Unknown	0.264	c	Semi Toler.
704019	P'asña papa	0.264	c	Semi Toler.	704327	Color unkuña	0.254	c	Semi Toler.
702535	Sipancachi	0.258	c	Semi Toler.	704987	Yana runa	0.248	c	Semi Toler.
703651	Sacampaya	0.252	c	Semi Toler.	705812	Bogatana	0.244	c	Semi Toler.
705336	Calvache	0.252	c	Semi Toler.	705336	Calvache	0.24	c	Semi Toler.
700348	Unknown	0.248	c	Semi Toler.	705829	Tika wuaman	0.236	c	Semi Toler.
704556	Pukuchu	0.242	c	Semi Toler.	703365	Holandesa	0.228	c	Semi Toler.
704814	Kellu culi	0.242	c	Semi Toler.	700908	Hueqlla	0.222	c	Semi Toler.
703008	Yana mataj	0.24	c	Semi Toler.	704745	Lucki	0.22	c	Semi Toler.
703365	Holandesa	0.222	c	Semi Toler.	704104	Tarmeña roja	0.216	c	Semi Toler.
704327	Color unkuña	0.216	c	Semi Toler.	704047	Canastilla	0.214	c	Semi Toler.
704148	Alcona	0.202	d	Semi Toler.	762451	URY 1	0.214	c	Semi Toler.
705884	Abajeña	0.192	d	Semi Toler.	702445	Piñaza	0.21	c	Semi Toler.
705829	Tika wuaman	0.178	d	Semi Toler.	705088	Chava negra	0.176	c	Semi Toler.
397077.16	WA.077/320.16	0.176	d	Semi Toler.	703651	Sacampaya	0.176	c	Semi Toler.
704086	Yana anku	0.162	d	Semi Toler.	720088	Achirana-INTA (2)	0.168	c	Susceptible
700908	Hueqlla	0.16	d	Semi Toler.	703456	Unknown	0.16	c	Susceptible
762451	URY 1	0.15	d	Semi Toler.	397077.16	WA.077/320.16	0.156	c	Susceptible
720088	Achirana-INTA (2)	0.148	d	Susceptible	704148	Alcona	0.15	c	Susceptible
703456	Unknown	0.136	d	Susceptible	705884	Abajeña	0.148	c	Susceptible
376181.5	H-1	0.126	d	Susceptible	376181.5	H-1	0.146	c	Susceptible
800048	Desiree	0.112	d	Susceptible	705490	Muru warkatina	0.14	c	Susceptible
704047	Canastilla	0.108	d	Susceptible	700348	Unknown	0.13	c	Susceptible
704815	Wila anckanche	0.09	d	Susceptible	800048	Desiree	0.106	c	Susceptible
703617	Unknown	0.07	d	Susceptible	703311	Unknown	0.092	c	Susceptible
800827	Atlantic	0.068	d	Susceptible	704229	Hancko anckanchi	0.054	c	Susceptible
704229	Hancko anckanchi	0.064	d	Susceptible	703617	Unknown	0.046	c	Susceptible
704745	Lucki	0.06	d	Susceptible	800827	Atlantic	0.034	c	Susceptible
703311	Unknown	0.056	d	Susceptible	704233	Wila palta yari	0.024	c	Susceptible
704233	Wila palta yari	0.026	d	Susceptible	704815	Wila Anckanche	0.018	c	Susceptible

Tabla 7. Análisis de agrupamiento utilizando el índice relativo al control de la variable número de raíces por planta (NRPr) y la prueba Scott y Knott (SK)

Dosis 4% Exp 1					Dosis 4% Exp 2				
Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta	Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta
704812	Wila pali	0.9422	a		701531	Yana rucunag	1	a	
706776	Lucki	0.9218	a		704753	Pali	1	a	
720089	Sierra volcan	0.9198	a		703501	Tulu kuchus	0.948	a	
800048	Desiree	0.9018	a	Semi Toler.	704019	P'asña papa	0.928	a	
705454	Wayru	0.8922	a	Tolerante	720089	Sierra volcan	0.914	a	
702611	Sakampaya	0.892	a		702611	Sakampaya	0.906	a	
705223	Capiro	0.86	a		703502	Rosita	0.9	a	
701142	Escoleta	0.8574	a		706776	Lucki	0.898	a	
705234	Unknown	0.8532	a		705234	Unknown	0.882	a	
705548	Yurac qompis	0.842	a		704745	Lucki	0.876	a	
703144	Llamapa chupam	0.8386	a		720043	Revolución (2)	0.874	a	Susceptible
706191	Cuchi chuchchan	0.828	a		704231	Jancko yari	0.86	a	
707071	Pitwayyaka	0.816	a		800827	Atlantic	0.856	a	Susceptible
701531	Yana rucunag	0.814	a		705438	Pepino	0.85	a	
703501	Tulu kuchus	0.8118	a		704440	Venancia	0.848	a	
704143	Roja ojosa	0.8	a		704626	Pumapa makin	0.844	a	
700234	SA-2563	0.796	a		703144	Llamapa chupam	0.828	a	
704626	Pumapa makin	0.7948	a		701997	Sullu	0.818	a	
703502	Rosita	0.794	a		704429	Guincho negra	0.812	a	
704231	Jancko yari	0.7932	a		707071	Pitwayyaka	0.808	a	
703310	Linlesh	0.7912	a		707017	Lucki	0.806	a	
705490	Muru warkatina	0.79	a		704812	Wila pali	0.804	a	
704591	Yana P'utis	0.7828	a		707238	Sani imilla	0.802	a	
720043	Revolucion (2)	0.7702	a	Susceptible	705490	Muru warkatina	0.8	a	
279023.137	G-7	0.757	a		703310	Linlesh	0.796	a	
703690	Unknown	0.75	a		706724	Puca allqu	0.792	a	
704745	Lucki	0.7324	a		705454	Wayru	0.792	a	Tolerante
704828	Wila imilla	0.7274	a	Tolerante	704234	Kaisalla	0.78	a	
704104	Tarmeña roja	0.7264	a		701142	Escoleta	0.774	a	
703462	Unknown	0.7194	a		703462	Unknown	0.77	a	
704086	Yana anku	0.7176	a		702514	Chata blanca ojos morados	0.77	a	
704783	Pali	0.711	a		705548	Yurac Ccompis	0.768	a	
706724	Puca allqu	0.7082	a		703759	Chiar imilla	0.754	a	
700921	Qompis	0.708	a	Tolerante	703905	Huata Colorada	0.748	a	
704987	Yana runa	0.7066	a		703760	Yalka coillu	0.742	a	
704161	Luqui morada	0.7048	a		G-2218	Rubi roja	0.74	a	
704753	Pali	0.702	a		704086	Yana anku	0.74	a	
703008	Yana mataj	0.7002	a	Tolerante	704591	Yana p'utis	0.72	b	
700348	Unknown	0.7	a		702270	Unknown	0.72	b	
704019	P'asña papa	0.6894	a		279023.137	G-7	0.72	b	
703905	Huata Colorada	0.687	a		704783	Pali	0.716	b	
706727	Duraznillo	0.684	a		704987	Yana runa	0.714	b	
702514	Chata blanca Ojos morados	0.684	a		700921	Ccompis	0.712	b	Tolerante
707017	Lucki	0.6824	a		705336	Calvache	0.708	b	
707135	Puka duraznillo	0.6794	a		702788	Unknown	0.708	b	
702445	Piñaza	0.678	a		704365	Unknown	0.702	b	
704440	Venancia	0.6766	a		700348	Unknown	0.7	b	
704365	Unknown	0.675	a		703690	Unknown	0.698	b	
G-2218	Rubi roja	0.668	a		703457	Criolla	0.696	b	
702270	Unknown	0.6642	a		704104	Tarmeña roja	0.688	b	
702543	Waca corota	0.664	a		707025	Karasapa coillo	0.688	b	
703457	Criolla	0.6632	a		702543	Waca corota	0.686	b	
705536	Duraznillo	0.66	a		704143	Roja ojosa	0.682	b	
705884	Abajeña	0.6578	a		706727	Duraznillo	0.68	b	
704234	Kaisalla	0.644	b		706728	Puqya	0.68	b	

702282	Choquepito	0.643	b		704229	Jancko anckanchi	0.674	b	
397077.16	WA.077/320.16	0.6384	b		704144	Runa amarilla	0.668	b	
762451	URY 1	0.6302	b		705223	Capiro	0.666	b	
704148	Alcona	0.629	b		706191	Cuchi chucchan	0.666	b	
705438	Pepino	0.6222	b		800048	Desiree	0.664	b	Semi Toler.
704144	Runa amarilla	0.618	b		707135	Puka durasnillo	0.662	b	
703759	Chiar imilla	0.6162	b		704924	Sanko imilla	0.656	b	
705336	Calvache	0.6154	b		762451	URY 1	0.65	b	
703583	Unknown	0.6146	b		704828	Wila imilla	0.648	b	Tolerante
704327	Color unkuña	0.608	b		704148	Alcona	0.646	b	
705940	Larga	0.5934	b		704556	Pukuchu	0.644	b	
703760	Yalka coillu	0.5788	b		702445	Piñaza	0.642	b	
800827	Atlantic	0.5752	b	Susceptible	700234	SA-2563	0.64	b	
701997	Sullu	0.5714	b		705812	Bogotana	0.64	b	
390478.9	Tacna (1)	0.5694	b	Tolerante	397077.16	WA.077/320.16	0.638	b	
703456	Unknown	0.5576	b		705940	Larga	0.626	b	
707238	Sani imilla	0.5568	b		705088	Chava negra	0.626	b	
706728	Puqya	0.5528	b		703008	Yana mataj	0.62	b	Tolerante
705812	Bogotana	0.55	b		704161	Luqui morada	0.618	b	
702535	Sipancachi	0.528	b		702282	Choquepito	0.602	b	
705088	Chava negra	0.526	b		704327	Color unkuña	0.598	b	
703311	Unknown	0.518	b		703583	Unknown	0.594	b	
704556	Pukuchu	0.513	b		703369	Ojo de buey	0.572	c	
394881.8	95.118	0.509	b		394881.8	95.118	0.568	c	
704924	Sanko imilla	0.5056	b		705536	Duraznillo	0.552	c	
704429	Guincho negra	0.5002	b			Wayruro	0.542	c	
702788	Unknown	0.5	b		390478.9	Tacna (1)	0.54	c	Tolerante
703369	Ojo de buey	0.4692	b		703311	Unknown	0.526	c	
704814	Kellu culi	0.4488	b		703456	Unknown	0.516	c	
707025	Karasapa coillo	0.4458	b		702535	Sipancachi	0.5	c	
704229	Jancko anckanchi	0.4334	b		705884	Abajeña	0.48	c	
703365	Holandesa	0.4	b		704815	Wila anckanche	0.454	c	
	Wayruro	0.3782	b		704233	Wila palta yari	0.418	c	
704815	Wila anckanche	0.3162	b		704814	Kellu culi	0.386	c	
704233	Wila palta yari	0.276	b		703365	Holandesa	0.328	c	
Dosis 8% Exp 1					Dosis 8% Exp 2				
Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta	Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Respuesta
704812	Wila pali	0.8576	a		701531	Yana rucunag	0.972	a	
706776	Lucki	0.8522	a		705234	Unknown	0.948	a	
707017	Lucki	0.8472	a		704753	Pali	0.942	a	
705454	Wayru	0.8306	a	Tolerante	701142	Escoleta	0.878	a	
704591	Yana p'utis	0.812	a		705454	Wayru	0.848	a	Tolerante
702611	Sakampaya	0.81	a		720043	Revolucion (2)	0.832	a	Susceptible
705234	Unknown	0.7466	a		706776	Lucki	0.826	a	
703310	Linlesh	0.7392	a		704987	Yana runa	0.8	a	
703502	Rosita	0.728	a		704745	Lucki	0.788	a	
703144	Llamapa chupam	0.7204	a		707017	Lucki	0.776	a	
701531	Yana rucunag	0.713	a		703462	Unknown	0.77	a	
703462	Unknown	0.7056	a		702611	Sakampaya	0.752	b	
704365	Unknown	0.7	a		703144	Llamapa chupam	0.744	b	
705336	Calvache	0.6944	a		703310	Linlesh	0.742	b	
703759	Chiar imilla	0.6862	a		704812	Wila pali	0.73	b	
702543	Waca qorota	0.682	a		704234	Kaisalla	0.72	b	
702445	Piñaza	0.672	a		704591	Yana p'utis	0.72	b	
701142	Escoleta	0.671	a		279023.137	G-7	0.72	b	
706727	Duraznillo	0.642	a		704626	Pumapa makin	0.712	b	
705223	Capiro	0.64	a		703502	Rosita	0.7	b	
706191	Cuchi chucchan	0.638	a		397077.16	WA.077/320.16	0.688	b	
702270	Unknown	0.636	a		704783	Pali	0.676	b	
705438	Pepino	0.6344	a		700921	Qompis	0.662	b	Tolerante
700234	SA-2563	0.634	a		G-2218	Rubi roja	0.658	b	
704745	Lucki	0.6336	a		704828	Wila imilla	0.656	b	Tolerante
704753	Pali	0.632	a		704231	Jancko yari	0.65	b	
702282	Choquepito	0.631	a		706724	Puca allqu	0.624	b	
704148	Alcona	0.6288	a		704086	Yana anku	0.62	b	
704987	Yana runa	0.6266	a		701997	Sullu	0.618	b	
704429	Guincho negra	0.6228	a		706191	Cuchi chucchan	0.618	b	
279023.137	G-7	0.6142	a		720089	Sierra volcan	0.616	b	
762451	URY 1	0.6088	a			Wayruro	0.614	b	
705490	Muru warkatina	0.608	a		703759	Chiar imilla	0.612	b	
704144	Runa amarilla	0.604	a		394881.8	95.118	0.598	b	
704104	Tarmeña roja	0.6002	a		704019	P'asña papa	0.588	c	
720043	Revolucion (2)	0.5976	a	Susceptible	800827	Atlantic	0.58	c	Susceptible
704234	Kaisalla	0.594	a		704429	Guincho negra	0.578	c	
704161	Luqui morada	0.5898	a		705438	Pepino	0.574	c	
704924	Sanko imilla	0.5846	a		705223	Capiro	0.572	c	
706724	Puca allqu	0.5834	a		705336	Calvache	0.564	c	
705536	Duraznillo	0.58	a		702535	Sipancachi	0.562	c	
700921	Ccompis	0.58	a	Tolerante	762451	URY 1	0.556	c	
704231	Jancko yari	0.5788	a		707238	Sani imilla	0.546	c	
707025	Karasapa coillo	0.5762	a		704161	Luqui morada	0.546	c	
703905	Huata colorada	0.574	a		705812	Bogotana	0.544	c	
390478.9	Tacna (1)	0.567	a	Tolerante	702543	Waca qorota	0.544	c	
702514	Chata blanca ojos morados	0.564	a		702445	Piñaza	0.542	c	
707238	Sani imilla	0.5566	a		705490	Muru warkatina	0.536	c	
704143	Roja ojosa	0.5558	a		706727	Duraznillo	0.532	c	
704019	P'asña papa	0.5534	a		703583	Unknown	0.528	c	
704086	Yana anku	0.5528	a		707135	Puka durasnillo	0.526	c	
707135	Puka durasnillo	0.5474	a		705536	Duraznillo	0.526	c	
704828	Wila imilla	0.5456	a	Tolerante	704365	Unknown	0.526	c	
397077.16	WA.077/320.16	0.5318	a		703905	Huata colorada	0.518	c	
720089	Sierra volcan	0.5246	a		702514	Chata blanca ojos morados	0.518	c	
800048	Desiree	0.5206	a	Semi Toler.	390478.9	Tacna (1)	0.518	c	Tolerante
703690	Unknown	0.52	a		704148	Alcona	0.516	c	

704626	Pumapa makin	0.5126	a		700234	SA-2563	0.512	c	
703457	Criolla	0.511	a		702282	Choquepito	0.512	c	
G-2218	Rubi roja	0.498	b		703008	Yana mataj	0.5	c	Tolerante
703369	Ojo de buey	0.4896	b		703690	Unknown	0.494	c	
703501	Tulu kuchus	0.4824	b		703457	Criolla	0.492	c	
703760	Yalka coillu	0.4736	b		707071	Pituwayaka	0.49	c	
703583	Unknown	0.469	b		704327	Color unkuña	0.488	c	
704783	Pali	0.4666	b		702270	Unknown	0.48	c	
705940	Larga	0.4616	b		705884	Abajeña	0.48	c	
394881.8	95.118	0.4538	b		704104	Tarmeña roja	0.478	c	
702535	Sipancachi	0.4444	b		703369	Ojo de buey	0.478	c	
700348	Unknown	0.442	b		705940	Larga	0.474	c	
703008	Yana mataj	0.4376	b	Tolerante	705088	Chava negra	0.472	c	
706728	Puqya	0.431	b		703760	Yalka coillu	0.46	c	
704327	Color unkuña	0.426	b		704143	Roja ojosa	0.454	c	
705884	Abajeña	0.4212	b		704144	Runa amarilla	0.448	c	
707071	Pituwayaka	0.416	b		704440	Venancia	0.444	c	
704440	Venancia	0.4136	b		707025	Karasapa coillo	0.428	c	
705548	Yurac qompis	0.4134	b		704924	Sanko imilla	0.42	c	
703456	Unknown	0.41	b		700348	Unknown	0.42	c	
701997	Sullu	0.382	b		706728	Puqya	0.418	c	
	Wayruro	0.3784	b		703456	Unknown	0.41	c	
800827	Atlantic	0.3752	b	Susceptible	705548	Yurac qompis	0.39	c	
704556	Pukuchu	0.3716	b		703501	Tulu kuchus	0.38	c	
705812	Bogotana	0.35	b		704229	Jancko anckanchi	0.32	d	
703365	Holandesa	0.3428	b		704814	Kellu culi	0.32	d	
702788	Unknown	0.326	b		800048	Desiree	0.314	d	Semi Toler.
705088	Chava negra	0.312	b		702788	Unknown	0.302	d	
704814	Kellu culi	0.2244	c		704556	Pukuchu	0.282	d	
704815	Wila anckanche	0.1836	c		703311	Unknown	0.26	d	
704229	Jancko anckanchi	0.1834	c		704233	Wila palta yari	0.186	e	
703311	Unknown	0.136	c		703365	Holandesa	0.116	e	
704233	Wila palta yari	0.096	c		704815	Wila anckanche	0.058	e	

Tabla 8. Análisis de agrupamiento utilizando el índice relativo al control de la variable longitud de tallo (LTr) y la prueba Scott y Knott (SK)

Dosis 4% Exp 1				Dosis 4% Exp 2			
Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Cip number	Nombre	Media	SK(5%)
703760	Yalka coillu	0.722	a	704104	Tarmeña roja	0.856	a
703933	Titerite	0.646	a	704828	Wila imilla	0.758	a
704047	Canastilla	0.63	a	703462	Unknown	0.656	b
704019	P'asña papa	0.63	a	703760	Yalka coillu	0.638	b
704104	Tarmeña roja	0.624	a	705454	Wayru	0.636	b
700234	SA-2563	0.594	a	703933	Titerite	0.628	b
702282	Choquepito	0.584	a	700347	SS-2613	0.606	c
703144	Llamapa chupam	0.582	a	704058	Leona	0.576	c
702611	Sakampaya	0.572	a	705191	Unknown	0.56	c
700348	Unknown	0.552	b	704812	Wila pali	0.542	c
704058	Leona	0.548	b	702514	Chata blanca ojos morados	0.534	c
703617	Unknown	0.542	b	G-2218	Rubi roja	0.518	c
703651	Sacampaya	0.538	b	761092	FB 4021C1.12	0.518	c
	Wayruro	0.53	b	705223	Capiro	0.516	c
704440	Venancia	0.528	b	703365	Holandesa	0.506	c
701641	Yana pepino	0.524	b	704365	Unknown	0.496	c
703905	Huata colorada	0.522	b	703008	Yana mataj	0.494	c
703690	Unknown	0.518	b	706776	Lucki	0.492	c
704556	Pukuchu	0.51	b	702543	Waca qorota	0.492	c
707071	Pituwayaka	0.498	b	704161	Luqui morada	0.476	d
705548	Yurac qompis	0.496	b	703144	Llamapa chupam	0.476	d
705536	Duraznillo	0.496	b	700348	Unknown	0.474	d
704148	Alcona	0.48	b	704231	Jancko yari	0.474	d
706727	Duraznillo	0.476	b	720043	Revolucion (2)	0.468	d
706728	Puqya	0.47	b	704234	Kaisalla	0.466	d
706068	Pali	0.468	b	800048	Desiree	0.464	d
700908	Hueqlla	0.466	b	705812	Bogotana	0.46	d
706724	Puca allqu	0.466	b	704783	Pali	0.458	d
704234	Kaisalla	0.464	b	704556	Pukuchu	0.452	d
706776	Lucki	0.464	b	704591	Yana p'utis	0.448	d
707017	Lucki	0.462	b	704626	Pumapa makin	0.448	d
704231	Jancko yari	0.456	b	704327	Color unkuña	0.446	d
704233	Wila palta yari	0.452	b	707017	Lucki	0.444	d
704814	Kellu culi	0.452	b	704047	Canastilla	0.442	d
704783	Pali	0.452	b		Wayruro	0.442	d
705234	Unknown	0.434	c	707071	Pituwayaka	0.44	d
705812	Bogotana	0.434	c	706727	Duraznillo	0.44	d
703502	Rosita	0.428	c	720089	Sierra volcan	0.44	d
701142	Escoleta	0.428	c	702282	Choquepito	0.436	d
704753	Pali	0.424	c	705536	Duraznillo	0.434	d
G-2218	Rubi roja	0.42	c	703502	Rosita	0.434	d
707238	Sani imilla	0.416	c	704144	Runa amarilla	0.432	d
704987	Yana runa	0.414	c	706728	Puqya	0.426	d
704626	Pumapa makin	0.412	c	705234	Unknown	0.424	d
705336	Calvache	0.412	c	706191	Cuchi chucchan	0.424	d
705088	Chava negra	0.412	c	702611	Sakampaya	0.422	d
705223	Capiro	0.41	c	279023.137	G-7	0.416	d
706191	Cuchi Chucchan	0.41	c	702788	Unknown	0.412	d
704365	Unknown	0.41	c	706724	Puca allqu	0.408	d
704828	Wila imilla	0.408	c	703310	Linlesh	0.406	d
703008	Yana mataj	0.406	c	700234	SA-2563	0.406	d
704812	Wila pali	0.402	c	705548	Yurac qompis	0.402	d
705191	Unknown	0.4	c	704262	Puca botijuela	0.402	d
704745	Lucki	0.4	c	705336	Calvache	0.394	d

705438	Pepino	0.394	c	704987	Yana runa	0.392	d
704262	Puca botijuela	0.392	c	704865	Holandesa	0.388	d
704327	Color unkhuña	0.392	c	701142	Escoleta	0.386	d
705454	Wayru	0.39	c	705088	Chava negra	0.386	d
704865	Holandesa	0.39	c	705438	Pepino	0.384	d
704591	Yana p'utis	0.39	c	705884	Abajeña	0.384	d
705940	Larga	0.39	c	703905	Huata colorada	0.38	d
705884	Abajeña	0.388	c	703583	Unknown	0.38	d
705829	Tika wuaman	0.388	c	397077.16	WA.077/320.16	0.376	d
704161	Luqui morada	0.386	c	703311	Unknown	0.374	d
761092	FB 4021C1.12	0.38	c	700908	Hueqlla	0.372	d
700347	SS-2613	0.38	c	704814	Kellu Culi	0.372	d
700921	Qompis	0.374	c	704745	Lucki	0.372	d
702445	Piñaza	0.364	c	700921	Qompis	0.372	d
702514	Chata blanca ojos morados	0.362	c	702445	Piñaza	0.372	d
703310	Linlesh	0.362	c	704233	Wila palta yari	0.37	d
703311	Unknown	0.36	c	704753	Pali	0.368	d
279023.137	G-7	0.358	c	376181.5	H-1	0.366	d
720088	Achirana-INTA	0.356	c	707238	Sani imilla	0.366	d
720089	Sierra volcan	0.348	c	390478.9	Tacna (1)	0.362	d
800048	Desiree	0.348	c	705940	Larga	0.352	d
800827	Atlantic	0.34	c	705829	Tika wuaman	0.348	d
702788	Unknown	0.338	c	394881.8	95.118	0.346	d
376181.5	H-1	0.328	d	704440	Venancia	0.346	d
720043	Revolucion (2)	0.324	d	701641	Yana pepino	0.33	e
704144	Runa amarilla	0.32	d	720088	Achirana-INTA	0.324	e
703583	Unknown	0.316	d	706068	Pali	0.318	e
702543	Waca qorota	0.314	d	703690	Unknown	0.306	e
703462	Unknown	0.302	d	704148	Alcona	0.29	e
704229	Jancko anckanchi	0.294	d	704019	P'asña Papa	0.26	e
702650	Wila yari	0.246	e	800827	Atlantic	0.256	e
390478.9	Tacna (1)	0.21	e	703651	Sakampaya	0.248	e
703365	Holandesa	0.2	e	703617	Unknown	0.21	e
394881.8	95.118	0.188	e	702650	Wila yari	0.166	e
397077.16	WA.077/320.16	0.186	e	704229	Jancko anckanchi	0.158	e
Dosis 8% Exp 1				Dosis 8% Exp 2			
Cip number	Nombre	Media	SK(5%)	Cip number	Nombre	Media	SK(5%)
700347	SS-2613	0.458	a	761092	FB 4021C1.12	0.542	a
705812	Bogotana	0.446	a	703462	Unknown	0.424	b
703462	Unknown	0.432	a	704104	Tarmeña roja	0.422	b
761092	FB 4021C1.12	0.392	a	704365	Unknown	0.406	b
707017	Lucki	0.376	a	703760	Yalka coillu	0.4	b
704828	Wila imilla	0.368	a	704058	Leona	0.398	b
704058	Leona	0.364	a	704144	Runa amarilla	0.39	b
702543	Waca qorota	0.364	a	705812	Bogotana	0.376	b
703008	Yana mataj	0.356	a	G-2218	Rubi roja	0.368	b
394881.8	95.118	0.354	a	707017	Lucki	0.364	b
704161	Luqui morada	0.348	a	704591	Yana p'utis	0.356	c
706727	Duraznillo	0.346	a	704556	Pukuchu	0.352	c
704144	Runa amarilla	0.346	a	705454	Wayru	0.35	c
704626	Pumapa makin	0.34	b	702514	Wayruro	0.334	c
706724	Puca allqu	0.34	b	702514	Chata blanca ojos morados	0.332	c
703144	Llamapa chupam	0.336	b	390478.9	Tacna (1)	0.332	c
705454	Wayru	0.332	b	704865	Holandesa	0.328	c
390478.9	Tacna (1)	0.332	b	700347	SS-2613	0.328	c
704104	Tarmeña Roja	0.332	b	704626	Pumapa makin	0.326	c
704812	Wila pali	0.328	b	703502	Rosita	0.318	c
703760	Yalka coillu	0.308	b	705336	Calvache	0.318	c
705940	Larga	0.308	b	705536	Duraznillo	0.312	c
705336	Calvache	0.306	b	703008	Yana mataj	0.312	c
704591	Yana p'utis	0.304	b	394881.8	95.118	0.308	c
702611	Sakampaya	0.302	b	704828	Wila imilla	0.3	c
703310	Linlesh	0.298	b	704327	Color unkhuña	0.3	c
704233	Wila palta yari	0.296	b	704234	Kaisalla	0.296	c
705234	Unknown	0.296	b	706724	Puca allqu	0.294	c
G-2218	Rubi roja	0.292	b	703144	Llamapa chupam	0.29	c
704783	Pali	0.292	b	706191	Cuchi chucchan	0.29	c
704365	Unknown	0.288	b	702543	Waca qorota	0.29	c
704865	Holandesa	0.288	b	706776	Lucki	0.288	c
702514	Chata blanca ojos morados	0.286	b	704161	Luqui morada	0.288	c
704745	Lucki	0.284	b	706727	Duraznillo	0.282	c
704047	Canastilla	0.282	b	705940	Larga	0.282	c
703905	Huata colorada	0.278	b	701641	Yana pepino	0.274	d
704753	Pali	0.274	b	704047	Canastilla	0.272	d
707071	Pituwayaka	0.272	b	705223	Capiro	0.272	d
705223	Capiro	0.268	c	720043	Revolucion (2)	0.272	d
704234	Kaisalla	0.264	c	703310	Linlesh	0.27	d
720089	Sierra volcan	0.262	c	703933	Titerite	0.268	d
705536	Duraznillo	0.26	c	707238	Sani imilla	0.268	d
700908	Hueqlla	0.258	c	702611	Sakampaya	0.262	d
707238	Sani imilla	0.256	c	705191	Unknown	0.262	d
700234	SA-2563	0.254	c	705829	Tika wuaman	0.262	d
703311	Unknown	0.248	c	706728	Puqya	0.256	d
706191	Cuchi chucchan	0.244	c	705234	Unknown	0.256	d
703502	Rosita	0.244	c	703311	Unknown	0.256	d
706776	Lucki	0.242	c	704753	Pali	0.25	d
703365	Holandesa	0.238	c	700234	SA-2563	0.244	d
720088	Achirana-INTA	0.238	c	704233	Wila palta yari	0.242	d
706728	Puqya	0.236	c	704745	Lucki	0.24	d
705829	Tika wuaman	0.234	c	720089	Sierra volcan	0.24	d
720043	Revolucion (2)	0.234	c	704812	Wila pali	0.238	d
704262	Puca botijuela	0.232	c	703651	Sakampaya	0.234	d
703933	Titerite	0.23	c	279023.137	G-7	0.234	d
				703905	Huata colorada	0.23	d

705438	Pepino	0.228	c	397077.16	WA.077/320.16	0.228	d
704814	Kellu culi	0.226	c	700908	Hueqlla	0.222	d
704556	Pukuchu	0.214	c	700921	Qompis	0.22	d
397077.16	WA.077/320.16	0.212	c	704019	P'asña Papa	0.216	e
700348	Unknown	0.21	c	702282	Choquepito	0.216	e
706068	Pali	0.208	c	704231	Hancko yari	0.21	e
705088	Chava negra	0.208	c	705438	Pepino	0.21	e
702282	Choquepito	0.204	c	704814	Kellu culi	0.21	e
703583	Unknown	0.2	c	703365	Holandesa	0.208	e
704019	P'asña papa	0.198	c	702445	Piñaza	0.208	e
702788	Unknown	0.198	c	703583	Unknown	0.208	e
701641	Yana pepino	0.196	c	703690	Unknown	0.206	e
704987	Yana runa	0.196	c	702788	Unknown	0.204	e
700921	Ccompis	0.19	c	704262	Puca botijuela	0.198	e
703617	Unknown	0.188	c	701142	Escoleta	0.196	e
704440	Venancia	0.188	c	800048	Desiree	0.194	e
800048	Desiree	0.188	c	704783	Pali	0.192	e
704231	Hancko yari	0.186	c	704148	Alcona	0.192	e
704148	Alcona	0.182	c	720088	Achirana-INTA	0.192	e
704327	Color unkuña	0.182	c	800827	Atlantic	0.184	e
800827	Atlantic	0.172	c	704987	Yana runa	0.182	e
701142	Escoleta	0.172	c	707071	Pituwayaka	0.178	e
702445	Piñaza	0.172	c	700348	Unknown	0.168	e
703651	Sakampaya	0.17	c	376181.5	H-1	0.168	e
705191	Unknown	0.168	c	706068	Pali	0.162	e
702650	Wila yari	0.168	c	705884	Abajeña	0.16	e
376181.5	H-1	0.164	c	704440	Venancia	0.156	e
279023.137	G-7	0.16	c	705548	Yurac qompis	0.152	e
703690	Unknown	0.152	c	705088	Chava negra	0.15	e
705884	Abajeña	0.148	c	704229	Jancko anckanchi	0.146	e
705548	Yurac qompis	0.146	c	703617	Unknown	0.144	e
704229	Jancko anckanchi	0.142	c	702650	Wila yari	0.126	e

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson para diez genotipos de papa sometidos a un régimen de 35 días de sequía para las variables severidad, grado de recuperación y grado de postrado.

Grado de recuperación	Severidad	Grado de recuperación
	-0.5468250	
	Pr: 0.093	
Grado de postrado	0.8456597	-0.329034
	Pr: 0.002	Pr: 0.333

Tabla 10. Número de estomas por campo óptico en cada uno de los dos regímenes en diez cultivares de papa.

Cultivar	NCC	NE	
		Régimen 1	Régimen 2
Hancko anckanchi	6	40.83	38.83
Qompis	6	33.50	29.33
Luqui morada	6	28.50	29.00
Yana runa	6	27.67	28.50
Wila yari	6	21.17	21.67
Choquepito	6	21.17	23.83
Waca corota	6	19.00	23.83
<i>Tacna</i>	6	16.17	14.67
<i>Darwin potato</i>	6	15.67	15.50
<i>Desiree</i>	6	9.83	9.50

NE=Número de estomas/campo óptico,

Las variedades en negritas son las que no fueron afectadas por los regímenes.

Las variedades en cursiva son las que mejor se recuperaron.

Tabla 11. Análisis de varianza para la longitud de la raíz según Newman y análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis para las variables, longitud de raíz más larga, materia seca de follaje y materia seca de raíz, de 10 cultivares de papa y dos regímenes de riego.

Longitud de raíz según Newman	Régimen	Cultivar
	0.03682*	2.752e ^{-6***}
Longitud de raíz más larga	0.744 n.s.	0.003866**
Materia seca de raíces	0.8076 n.s.	0.03035*
Materia seca de follaje	0.01282*	0.3729 n.s.

n.s. no significativo, *** p<0.001 ** p<0.005, *p<0.05

Tabla 12. Respuesta de 10 genotipos de papa a 2 regímenes de riego en términos de la variable longitud de raíz según Newman. Pruebas ANOVA y LSD para comparación de medias.

Promedio de la longitud de raíz de papa después de 35 días de sequía					
Cultivar	Riego 1 (riego normal)		Riego 2 (sequía 35 días)		Índice R2/R1
Ccompis	18329.9	a	20834.6	a	1.14
Waca corota	8393.6	bc	16559.7	ab	1.97
Choquepito	11877.2	b	12367.4	abc	1.04
Wila yari	7401.3	cd	10047.9	bcd	1.36
Tacna	2598.6	e	8772.9	bcd	3.38
Yana runa	2818.3	e	8049.2	bcd	2.86
Luqui morada	10234.6	bc	7987.8	bcd	0.78
Jancko anckanchi	4004.3	de	4248.8	cd	1.06
Darwin potato	1044.8	e	1792.2	d	1.72
Desiree	1329.2	e	896.5	d	0.67
Promedio	6803.186	B	9125.709	A	
p-value	genotipo	2.752e ^{-6***}	<0.001		
	régimen	0.03682*	<0.05		
	Genotipo:régimen	0.49279	Ns		
CV:	41.21959				

Tabla 13. Coeficientes de correlación de Pearson para diez genotipos de papa sometidas a un régimen de 35 días de sequía.

LRN	MSR	MSF	PFT	NT
	-0.513	-0.133	0.442	0.196
	0.001	0.415	0.004	0.226

LRN: longitud de raíz según Newman; MSR: materia seca de raíz; MSF: materia seca de follaje; PFT: peso fresco de tallo; NT: número de tubérculos.

Tabla 14. Rendimiento de papa en términos de peso y número de tubérculos, siguiendo dos regímenes de riego y cultivo en tubos de PVC en Huancayo-Perú

Cultivar	Especie	Sequía				Control			
		Peso fresco(g)	Número	Peso fresco (g)	Número	Peso fresco (g)	Número	Peso fresco (g)	Número
Choquepito	<i>S. curtilobum</i>	572	a	34	ab	614	a	33	b
Luqui morada	<i>S. curtilobum</i>	546	ab	49	a	606	a	37	ab
Wila yari	<i>S. ajanhuiri</i>	541	ab	27	bc	605	a	28	bc
Waca qorota	<i>S. curtilobum</i>	531	ab	27	bc	597	a	20	cd
Yana runa	<i>S. tuberosum</i> subsp <i>andigena</i>	437	bc	49	a	556	ab	43	a
Ccompis	<i>S. tuberosum</i> subsp <i>andigena</i>	389	c	20	bc	481	b	19	d
Tacna	<i>Solanum</i> spp.	371	c	3	de	482	b	5	e
Jancko anckanchi	<i>S. ajanhuiri</i>	327	cd	26	bc	344	c	24	cd
Desiree	<i>Solanum</i> spp.	228	d	2	e	98	d	2	e
Darwin potato	<i>S. tuberosum</i> subsp <i>tuberosum</i>	224	d	18	cd	277	c	22	cd
CV (%)		35.7		16.2		13.2		21.1	
<i>P value</i>		>0.001		>0.001		>0.001		>0.001	

Tabla 15. Correlación entre los índices relativos al control de variables de desarrollo y respuesta al estrés por sequía aplicada en condiciones de invernadero en Huancayo, Peru. Los valores representan el promedio de la respuesta a sequía de 15 y 30 días.

	PFFr	PFTTr	PFRr	PSFr	PSTr	PSRr	LRNr	NTr	RTr
PFFr	1	0.24	0.04	0.23	0.29	-0.11	-0.29	-0.16	0.48
PFTTr	0.24	1	0.24	0.52	0.75	0.26	0.09	-0.06	-0.04
PFRr	0.04	0.24	1	0.17	0.04	0.41	0.21	0.03	-0.14
PSFr	0.23	0.52	0.17	1	0.55	0.11	-0.03	0.05	0.19
PSTr	0.29	0.75	0.04	0.55	1	0.1	0.03	-0.05	0.06
PSRr	-0.11	0.26	0.41	0.11	0.1	1	0.63	0.02	-0.09
LRNr	-0.29	0.09	0.21	-0.03	0.03	0.63	1	-0.02	-0.25
NTr	-0.16	-0.06	0.03	0.05	-0.05	0.02	-0.02	1	0.01
RTr	0.48	-0.04	-0.14	0.19	0.06	-0.09	-0.25	0.01	1

Probability values (Entries above the diagonal are adjusted for multiple tests.)

	PFFr	PFTTr	PFRr	PSFr	PSTr	PSRr	LRNr	NTr	RTr
PFFr	0.00	0.16	1.00	0.26	0.03	1.00	0.03	1.00	0.00
PFTTr	0.01	0.00	0.16	0.00	0.00	0.09	1.00	1.00	1.00
PFRr	0.62	0.01	0.00	1.00	1.00	0.00	0.48	1.00	1.00
PSFr	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.79
PSTr	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PSRr	0.23	0.00	0.00	0.23	0.25	0.00	0.00	1.00	1.00
LRNr	0.00	0.30	0.02	0.75	0.73	0.00	0.00	1.00	0.13
NTr	0.07	0.53	0.71	0.57	0.58	0.80	0.78	0.00	1.00
RTr	0.00	0.65	0.13	0.04	0.53	0.33	0.00	0.89	0.00

PFFr: peso fresco de follaje relativo ,PFTTr:peso fresco de tubérculo relativo; PFRr: peso fresco de raíz relativo, PSFr: peso seco de follaje relativo;PSRr:peso seco de raíz relativo; LRNr: longitud de raíz según Newman relativo; NTr: numero de raíces relativo; RTr: rendimiento de tubérculo relativo

Tabla 16. Correlation entre los índices relativos al control de variables de desarrollo y respuesta al estrés por sequía 15 días aplicada en condiciones de invernadero en Huancayo, Peru.

	PFFr	PFTTr	PFRr	PSFr	PSTr	PSRr	LRNr	NTr	RTr	CL-A	CL-B	CL-AB
PFFr	1	0.27	0.11	0.2	0.33	0.06	-0.03	-0.22	0.21	0.41	0.41	0.44
PFTTr	0.27	1	0.28	0.52	0.78	0.46	0.24	0.03	-0.05	0.12	0.2	0.18
PFRr	0.11	0.28	1	0.16	0.07	0.52	0.41	0.1	-0.3	-0.07	0.1	0.02
PSFr	0.2	0.52	0.16	1	0.47	0.27	0.17	-0.12	0.13	0.14	0.22	0.2
PSTr	0.33	0.78	0.07	0.47	1	0.2	0.13	-0.02	-0.04	0.25	0.21	0.26
PSRr	0.06	0.46	0.52	0.27	0.2	1	0.77	0.02	-0.17	-0.01	0.05	0.03
LRNr	-0.03	0.24	0.41	0.17	0.13	0.77	1	0.11	-0.25	0.02	0.04	0.04
NTr	-0.22	0.03	0.1	-0.12	-0.02	0.02	0.11	1	0.01	-0.01	-0.04	-0.03
RTr	0.21	-0.05	-0.3	0.13	-0.04	-0.17	-0.25	0.01	1	0.25	0.2	0.22
CL-A	0.41	0.12	-0.07	0.14	0.25	-0.01	0.02	-0.01	0.25	1	0.91	0.97
CL-B	0.41	0.2	0.1	0.22	0.21	0.05	0.04	-0.04	0.2	0.91	1	0.97
CL-AB	0.44	0.18	0.02	0.2	0.26	0.03	0.04	-0.03	0.22	0.97	0.97	1

Probability values (Entries above the diagonal are adjusted for multiple tests.)

	PFFr	PFTTr	PFRr	PSFr	PSTr	PSRr	LRNr	NTr	RTr	CL-A	CL-B	CL-AB
PFFr	0.00	1.00	1.00	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	0.04	0.05	0.02
PFTTr	0.03	0.00	1.00	0.00	0.00	0.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PFRr	0.38	0.02	0.00	1.00	1.00	0.00	0.05	1.00	0.93	1.00	1.00	1.00
PSFr	0.11	0.00	0.21	0.00	0.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PSTr	0.01	0.00	0.61	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PSRr	0.66	0.00	0.00	0.03	0.11	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
LRNr	0.83	0.06	0.00	0.18	0.30	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
NTr	0.09	0.81	0.43	0.35	0.86	0.90	0.40	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RTr	0.09	0.69	0.02	0.31	0.75	0.19	0.05	0.96	0.00	1.00	1.00	1.00
CL-A	0.00	0.33	0.57	0.29	0.05	0.97	0.90	0.95	0.04	0.00	0.00	0.00
CL-B	0.00	0.12	0.43	0.09	0.10	0.68	0.78	0.79	0.12	0.00	0.00	0.00
CL-AB	0.00	0.15	0.85	0.12	0.04	0.81	0.76	0.81	0.09	0.00	0.00	0.00

PFFr: peso fresco de follaje relativo , PFTTr:peso fresco de tubérculo relativo; PFRr: peso fresco de raíz relativo, PSFr: peso seco de follaje relativo; PSRr:peso seco de raíz relativo; LRNr: longitud de raíz según Newman relativo; NTr: numero de raíces relativo; RTr: rendimiento de tubérculo relativo; CL-A: contenido relativo de clorofila A; CL-B: contenido relativo de clorofila B; CL-AB: contenido relativo de clorofila A+B

Figura 1.A a la izquierda se observa el invernadero tipo túnel utilizado para la evaluación de tolerancia a sequía de papa; a la derecha se observa las plantas sembradas en tubos de PVC de 1.20 de longitud, 25 cm de diámetro, aproximadamente 2 meses después de la siembra.



Figura 2. Respuesta de papa a tratamiento de sequía (35 días) en condiciones de invernadero utilizando como macetas tubos de PVC de 1.20 m de largo, en base al grado de marchitez observada.

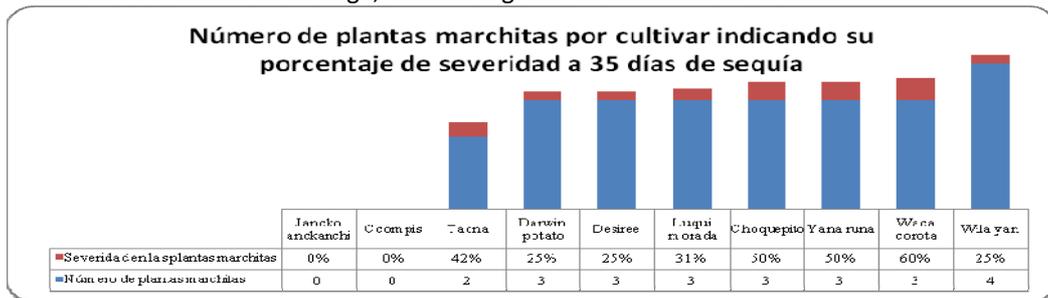


Figura 3. Análisis de la variable altura de planta (cm) para 10 genotipos de papa durante 35 días de sequía

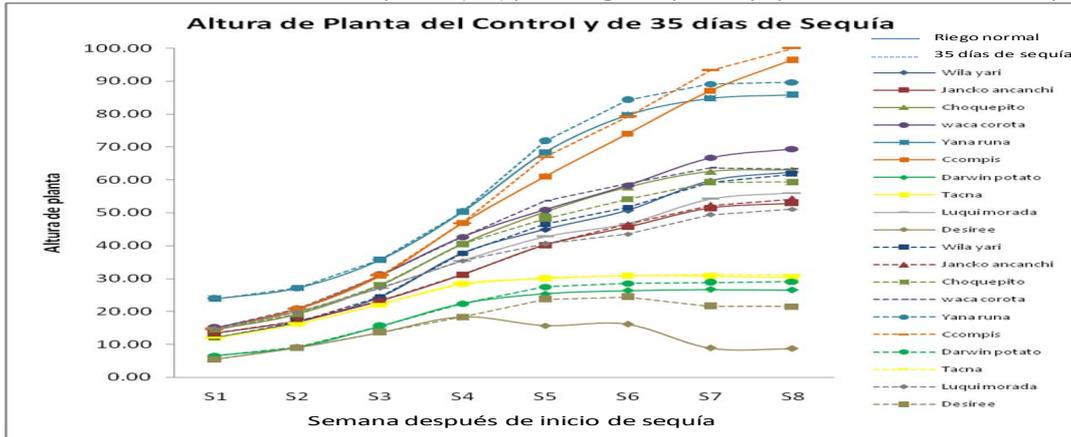
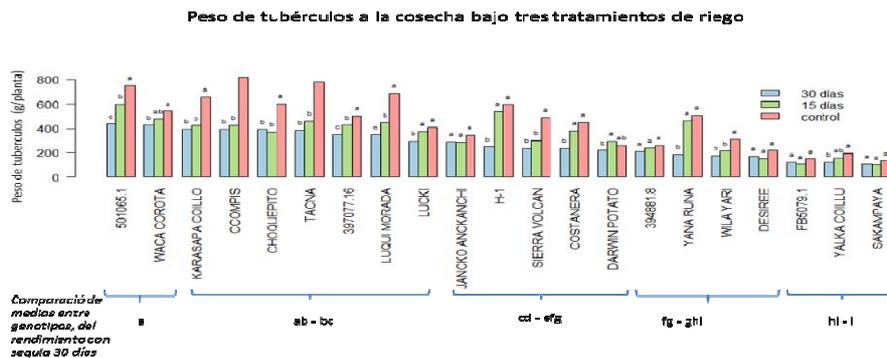


Figura 4. Izquierda, plántulas *in vitro* utilizadas para el experimento de tolerancia a sequía en invernadero utilizando macetas. **Derecha,** Invernadero sembrado con tres repeticiones, para cada uno de los tres tratamientos; 20 genotipos. Fecha de siembra aproximada Marzo 2012.



Figura 5. Respuesta de 21 genotipos de papa comprendiendo 11 cultivares nativos, 6 variedades mejoradas, 2 cultivares avanzados y un genotipo de la especie silvestre *S. commersonii* a tres regímenes de riego en condiciones de invernadero (Huancayo, Peru, 2012)



Identificación de materiales tolerantes a estrés hídrico por sequía mediante evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes en Bolivia

Silene Veramendi⁵, Julio Gabriel⁶, Ada Angulo⁷

Compendio

Con el objetivo de evaluar la respuesta antioxidante al estrés hídrico por sequía en Waych'a (adg), Imilla Lunku (adg), Yana qoyllu (stn), Pinta boca (stn), Yana sutamari (adg), Puka taca (stn), Kellu zapallo (gon), Sakampaya (adg), Kusillo (stn), Yurima (stn), Sakampaya (adg), Chiara (adg), se evaluó la actividad enzimática de la Catalasa (CAT), el Ascorbato peroxidasa (APX) y la guaiacol peroxidasa (POX) después de someter los doce genotipos a tres tratamientos de estrés hídrico: con riego, 10 y 20 días sin riego. El diseño empleado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas, donde las parcelas principales fueron los tres tratamientos de sequía y las subparcelas las doce variedades. Una unidad experimental estaba conformada por tres macetas cada una con una planta. Las variables de respuesta empleadas fueron severidad de daño por sequía y actividad enzimática de las enzimas CAT, APX y POX (U/g). El tratamiento de sequía que causó mayor severidad fue el tratamiento de 20 días de duración. Las accesiones con mayor resistencia al estrés hídrico en ambos tratamientos de estrés fueron Yana Sutamari y Yana Qoyllu. Se observó que las variedades resistentes a sequía en general incrementaron la actividad enzimática de estas tres enzimas bajo estrés hídrico y que las variedades susceptibles disminuyeron esta actividad. Se observó una correlación alta y negativa entre la severidad de daño por sequía y la actividad de las enzimas antioxidantes Catalasa (CAT), Ascorbato Peroxidasa (APX) y Guaiacol Peroxidasa (POX).

Introducción

Los períodos de sequía son una característica inevitable y recurrente de la agricultura mundial y, a pesar de la capacidad de las sociedades humanas para ejercer la predicción de su arribo y para modificar su impacto, la sequía sigue siendo hasta hoy el factor adverso más importante para la seguridad alimentaria de la población humana. Una de las estrategias para contribuir a la solución de esta problemática mundial es implementar programas de mejoramiento genético dirigidos a la obtención de cultivos resistentes a condiciones ambientales que imponen una limitación de agua, además de otras medidas (Terán, 2002).

La sequía es uno de los factores abióticos más importantes que afectan la producción de papa debido a la insuficiente, inadecuada y errática distribución de la precipitación pluvial.

El cultivo de papa es conocido por su sensibilidad a la sequía y su efecto en la productividad depende de la intensidad, duración y etapa fenológica en la que se presenta. Si el déficit hídrico es severo y la planta no cuenta con mecanismos de defensa, puede ocurrir paulatinamente la muerte (Gabriel *et al.*, 2011). El crecimiento vegetal, el desarrollo, el aumento de Biomasa y la productividad dependen, de la capacidad del metabolismo y la fisiología vegetal para adaptarse y aclimatarse a las condiciones ambientales en cambio constante.

La resistencia a la sequía de un cultivo hace referencia a su capacidad para crecer satisfactoriamente en zonas con déficit hídrico. Las modificaciones que tienen lugar en la estructura y función de las plantas para aumentar la probabilidad de sobrevivir y reproducirse en un ambiente determinado se llama adaptación (Charco, 2002). Según (Blum, 1993) se conoce tres mecanismos de adaptación de las plantas a la sequía: 1) Mecanismos de escape de la sequía - es la capacidad de las plantas para completar su ciclo de vida antes de que el déficit hídrico sea más severo, 2) Mecanismos de aplazamiento o evitación de la deshidratación - que es la capacidad de las plantas para mantener su potencial hídrico relativamente alto en condiciones de estrés hídrico, mediante el cierre estomático y el ajuste osmótico y 2) Mecanismos de tolerancia a la deshidratación - que es la capacidad de las plantas para reducir la actividad química del agua.

El incremento de la actividad química del agua conlleva una alteración del equilibrio entre las especies peroxidantes y los antioxidantes, a favor de las primeras (Sies, 1991). Esta alteración bioquímica se manifiesta como un incremento en la tasa de producción de ROS (Reactive oxygen species) que son formas parcialmente reducidas del oxígeno y que pueden conducir a la destrucción de los sistemas celulares. Las cantidades excesivas de las ROS pueden dañar proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. Por lo tanto el incremento en la capacidad de eliminación de estas ROS por parte de la planta es considerada como síntoma de tolerancia,

⁵Laboratorio de biología molecular Fundación PROINPA

⁶Responsable Programa de Mejoramiento Genético Fundación PROINPA

⁷Investigadora del Programa de Mejoramiento Genético Fundación PROINPA

mientras que la ausencia de respuesta o una disminución respecto de los valores control se considera síntoma de sensibilidad (Hernández *et al.*, 2000; Toumi *et al.*, 2010).

En condiciones normales, la producción y remoción de las ROS está estrictamente controlada. Sin embargo, el equilibrio entre la producción y la depuración de éstas puede ser perturbado por diversos factores fisicoquímicos, como son el déficit hídrico, la salinidad, las temperaturas extremas, la excesiva o insuficiente radiación luminosa, la anaerobiosis por encharcamiento o inundación, los factores mecánicos como el viento o la compactación del suelo, viento fuerte y las lesiones (Cabrera, 2006; Mano, 2002). Cuando ocurre un estrés abiótico en las plantas, las ROS (Reactive Oxygen Species) se producen continuamente en el cloroplasto, mitocondria y peroxisomas.

Independientemente de que las ROS sean moléculas reactivas que tienen una elevada afinidad por las membranas, ADN o proteínas en las células de las plantas, son consideradas como especies tóxicas, disruptores del metabolismo celular; sin embargo, se han encontrado evidencias de que las ROS también funcionan como señales moleculares que median respuestas a varios estímulos (Desikan *et al.*, 2004).

Entre las especies reactivas del oxígeno, el H₂O₂ (peróxido de hidrógeno) parece ser que desempeña el papel más importante en la señalización de los cambios estresantes, debido a su elevada estabilidad y largo tiempo de vida media (Hung, *et al.*, 2005). Si el H₂O₂ sirve como señal al estrés, las fluctuaciones de H₂O₂ en plantas podrían reflejar cambios espaciales y temporales en el ambiente (Hung, *et al.*, 2005). En apoyo a esta idea, un aumento brusco del estado oxidativo es una respuesta común a estreses abióticos y bióticos (Desikan *et al.*, 2003). Estos estreses incluyen patógenos, elicitores, daños mecánicos en el vegetal, calor, bajas temperaturas, luz UV y ozono. Por ejemplo, en invierno el descenso hasta 4°C causó en las hojas de *Triticum aestivum* un aumento en los niveles de H₂O₂ de tres veces en comparación con el control durante un minuto de ensayo (Desikan *et al.*, 2003).

El mantenimiento de las ROS a un nivel compatible con el funcionamiento celular normal se lleva a cabo por diversas actividades enzimáticas con capacidad antioxidante (Foyer *et al.*, 1994; Perl, 2002). Un antioxidante es cualquier sustancia que a bajas concentraciones comparadas con las del sustrato oxidable, inhibe o disminuye significativamente la oxidación de este sustrato. Las ROS que se llegan a producir en las células son eliminadas por varios sistemas antioxidantes que se clasifican como sistema antioxidante enzimático y no enzimático (Perl, 2002).

Entre los antioxidantes enzimáticos (Tabla 1) se tiene a la Catalasa (CAT) que elimina H₂O₂ en los peroxisomas, a la superóxido dismutasa (SOD) que elimina el anión-radical superóxido, a la Ascorbato peroxidasa (APX) que elimina H₂O₂ en diversos compartimentos y a la guaiacol peroxidasa (POX) (Moller *et al.*, 2007).

Entre los antioxidantes no enzimáticos, se tiene a los antioxidantes liposoluble como los carotenoides y alfa tocoferol y a los hidrosolubles como el ácido ascórbico y glutatión (Alegre, 2002)

Desde el punto de vista agrícola, las posibles soluciones frente al estrés hídrico pasan por la modernización de los sistemas de riego y por la utilización de cultivos con pocas necesidades hídricas. Siendo la única opción la última para la agricultura a secano. Por ello, numerosos proyectos de investigación a nivel mundial están orientados a la obtención de variedades que sean capaces de resistir mejor las condiciones adversas de falta de agua (Parry *et al.*, 2005).

La CAT es una enzima que contiene hierro en su estructura y cataliza la dismutación del H₂O₂ en agua y oxígeno molecular (Arora *et al.*, 2002). Esta enzima se encuentra en todos los organismos eucariota aeróbicos y constituye un mecanismo esencial para la eliminación del H₂O₂ generado en los peroxisomas por oxidasas que participan en la β-oxidación de ácidos grasos, la fotorespiración y el catabolismo de las purinas. La CAT fue una de las primeras enzimas en ser aislada y obtenida con un alto grado de pureza. Todas las formas enzimáticas de la CAT son tetraméricas con pesos moleculares de aproximadamente 220 KDa. Múltiples formas de la CAT han sido descritas en numerosas plantas. Estas formas han sido clonadas principalmente de maíz (Terán y Singh, 2002)

El APX es un sistema eficiente en las plantas y está formado por el sistema ácido ascórbico y la enzima APX. El APX es una enzima que contiene un grupo hemo y requiere de la presencia de ascorbato en cantidades considerables para su estabilidad y funcionalidad. Reduce el H₂O₂ a agua utilizando el ascorbato como co-factor. La actividad APX ha sido reportada principalmente en cloroplasto y citosol (Arora *et al.*, 2002). En los cloroplastos, la SOD y la enzima APX se presentan en forma soluble y unida a los tilacoides.

El Ascorbato es el antioxidante cuantitativamente predominante en las células vegetales, se encuentra en todos los compartimentos subcelulares, incluido el apoplasto, en concentraciones que oscilan entre 2-25 mM. El ascorbato es oxidado por el oxígeno, el anión superóxido, el oxígeno singulete y el peróxido de hidrógeno para dar lugar al radical monodeshidroascorbato, el cual se desproporciona en ascorbato o deshidroascorbato (Smirnov, 2000). Desempeña un papel fundamental en la fotoprotección y la regulación de la fotosíntesis, y preserva las actividades de enzimas que tienen iones metálicos de transición (Cu^{2+} , Fe^{2+}) como grupo prostético. El ascorbato es también un poderoso antioxidante secundario, ya que reduce la forma oxidada del α -tocoferol. Adicionalmente, es el reductor utilizado para la hidroxilación de residuos de prolina de la extensina, una proteína de la pared celular. También está implicado en la elongación de la raíz, el funcionamiento de los estomas, y desempeña una función crítica asociada a los mecanismos a través de los cuales las plantas perciben los cambios medio ambientales y responden a ellos (Foyer y Noctor, 2005).

El Pox desempeña una función catalítica importante al reducir los niveles de H_2O_2 en los tejidos vegetales, evitando con ello que este compuesto se difunda entre las membranas biológicas para reaccionar con iones libres como el Fe^{2+} y generar el potente radical hidroxilo, a través de la reacción de Fenton (Vogiatzi *et al.*, 2009).

Por lo expuesto, en el proyecto se evaluó el patrón de la actividad específica de las enzimas antioxidantes Catalasa (CAT), Ascorbato Peroxidasa (APX) y Guaiacol Peroxidasa (POX) en variedades de papa nativa catalogadas previamente como resistentes y susceptibles a sequía, para determinar el grado de correlación entre la actividad antioxidante y la severidad de daño por sequía.

Materiales y métodos

Material vegetal

Para el experimento de evaluación de la actividad enzimática se utilizaron doce variedades nativas de papa como Waych'a (adg), Imilla Lunku (adg), Yana qoyllu (stn), Pinta boca (stn), Yana sutamari (adg), Puka taca (stn), Kellu zapallo (gon), Sakampaya (adg), Kusillo (stn), Yurima (stn), Sakampaya (adg), Chiara (adg) que fueron previamente evaluadas para resistencia al estrés hídrico por sequía y seleccionadas por su buena performance.

El ensayo se implementó en un diseño de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas principales fueron los tres tratamientos de sequía (0, 10 y 20 días sin riego) y las subparcelas fueron los doce cultivares nativos. Los tratamientos de estrés se iniciaron a los 79 días después de la siembra (inicio de tuberización) que es la etapa más sensible en la papa.

La siembra se realizó en macetas de dos kilogramos. En el desarrollo del cultivo se realizó un aporte, en la fase de llenado de tubérculo. Se hizo el deshierbe según el requerimiento del cultivo, y el manejo fue el mismo para toda las parcelas principales.

Para el ensayo de sequía se evaluó la severidad o grado de marchitez (GM) que se evaluó según la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo (2009), una vez finalizado el periodo de sequía,

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o se aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Asimismo, se realizó un análisis de correlación entre el contenido de las tres enzimas y la variable severidad con el objetivo de confirmar si la resistencia a la sequía en estas variedades esta dada por ya sea por el incremento o la disminución de la actividad de estas tres enzimas. Los análisis indicados se realizaron utilizando los Proc GLM, Mixed y corr del SAS (SAS, 2004).

Para el experimento en laboratorio, la colecta de hojas se realizó una vez finalizado el respectivo tratamiento de estrés (10 y 20 días sin riego) junto a su respectivo testigo para posteriormente ser conservadas a -20°C hasta su análisis.

Preparación de los extractos enzimáticos

El material colectado fue congelado y triturado en nitrógeno líquido, el buffer de extracción enzimático se preparó según la metodología de Frary *et al.* (2010) con ligeras modificaciones. Se utilizó 100mM de tampón

fosfato de potasio a pH 7,0 conteniendo 0,1 % de polivinilpolipirrolidona (PVPP), 1 mM de EDTA, 1 mM de ácido ascórbico, los extractos se centrifugaron a 10.000 rpm por 20 minutos a 4 ° C y los sobrenadantes se retiraron a otro tubo para las determinaciones de la actividad enzimática de catalasa (**CAT**), el Ascorbato peroxidasa (**APX**) y la guaiacol peroxidasa (**POX**).

Para determinar la actividad de la enzima **CAT**. Se preparó una mezcla de reacción conteniendo 100 mM tampón fosfato de potasio (pH 6,5), 1,0 mM EDTA, 60,0 mM H₂O₂ (Aebi, 1983).

La actividad se determinó siguiendo la descomposición de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a 240 nm en un espectrofotómetro (SmartSpec Plus Marca Biorad – USA).

La **APX** se cuantificó utilizando el método descrito por Nakano y Asada (1987). La mezcla contenía 90 mM de tampón fosfato de potasio (pH 7,0), 0,1 mM EDTA, 0,65 mM ascorbato, y 1,0 mM H₂O₂. La actividad se determinó siguiendo la descomposición de H₂O₂ dependiente de ascorbato a 290 nm. Las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro (SmartSpec Plus Marca Biorad – USA).

Para determinar el **POX** se preparó una mezcla de reacción conteniendo 100 mM tampón fosfato de potasio (pH 6,5), 1,0 mM EDTA, guaiacol, y 50% (3 volúmenes) H₂O₂, (Aebi, 1983). La actividad se determinó siguiendo la descomposición de H₂O₂, utilizando guaiacol como agente donador de hidrógeno a 470 nm, en un espectrofotómetro (SmartSpec Plus Marca Biorad – USA).

El cálculo de la actividad de las enzimas antioxidantes fue realizado mediante la fórmula: CAT, APX, POX activity (Unit)=(Δ abs/Min x Volumen de reacción)/0,001.

Δ abs: Absorbancias; Min: tiempo de reacción en minuto; Volumen de reacción (Expresado en U/gramo de tejido).

Resultados y Discusión

La estimación de los componentes de varianza para la variable severidad (Tabla 2) no mostró efecto de parcela principal ($\sigma^2_{blk*seq}=0$), esto significa que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas no era necesario para controlar dicha variación. Por tanto, el diseño se modificó a bloques completos al azar. Asimismo, se observó que existieron diferencias significativas entre los efectos de las tres diferentes sequías sobre los diferentes genotipos (Pr <0,01).

Siendo que la sequía de 20 días causó mayor severidad (3,54) que la sequía de 10 días (2,57) y esta última mayor severidad que el testigo (0), se podría aseverar que a mayor duración de la sequía mayor fue el efecto de ésta sobre los 12 genotipos (Fig. 1).

El análisis de varianza (Tabla 3), también mostró que hubo interacción sequía x genotipo. Lo que indicó que el efecto de cada tratamiento de sequía fue diferente en los diferentes genotipos (Pr <0.01). Esto mostró que los genotipos nativos de mayor resistencia y los de mayor susceptibilidad fueron diferentes en las dos diferentes sequías (10 y 20 días) (Fig. 2), lo que indicaría que la resistencia a la sequía en estos genotipos nativos estaría en función a la duración de la misma.

En la figura 2 se hizo una comparación de las severidades obtenidas para los 12 genotipos bajo cada uno de los tratamientos y se observó que en el tratamiento de 10 días, Yana Sutamari (<2,2) obtuvo menor severidad que Waych'a, Yurima, Chiara, Kellu Zapallo y Pinta Boca (todas con severidades >2,5). Por otra parte, para el tratamiento de 20 días, Yana Qoyllu y nuevamente Yana Sutamari obtuvieron menores severidades (3,2) que Waych'a, Yurima, Chiara, Kellu Zapallo, Puka Taca y Pinta Boca. Esta última obtuvo la mayor severidad (4,26). La interacción tratamiento de sequía por genotipo se observó claramente en genotipos como Puka Taca y Yana Qoyllu. Para el primer genotipo existe una sustancial diferencia entre la magnitud de la severidad bajo el tratamiento de 10 días (2,32) y el tratamiento de 20 días (3,69). Esto significaría que este genotipo resistiría sequías de duración moderada y no así sequías prolongadas. El segundo genotipo, presenta una diferencia estrecha entre la severidad bajo el primer tratamiento (2,47) y el segundo tratamiento (3,02), esto significa que este genotipo desarrolla resistencia a sequías prolongadas pero necesita un previo periodo de adaptación y parece susceptible en un principio.

La evaluación de la respuesta antioxidante en las 12 variedades de se realizó mediante la medición de la actividad enzimática de la Catalasa (CAT), Ascorbato Peroxidasa (APX) y Guaiacol Peroxidasa (POX) en las hojas de las 12 variedades sometidas a los tres diferentes tratamientos de sequía una vez finalizados cada uno de los tratamientos de sequía.

Como se observa en la Tabla 3, la estimación de los componentes de varianza para la variable contenido de catalasa (CAT) (Tabla 3) no mostró efecto ni de bloque ($\sigma^2_{blq} = 0$), ni de parcela principal ($\sigma^2_{blq*seq} = 0$), esto significa que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas no era necesario para controlar dicha variación. Por tanto, el diseño se modificó a completamente aleatorio. Por otra parte, si existió efecto de bloque y de parcela principal para contenido de Ascorbato Peroxidasa (APX), por consiguiente, el diseño si era apropiado para esta variable. Finalmente, no existió efecto de bloque para la variable contenido de Guaiacol Peroxidasa (POX) y el diseño se modificó a parcelas principales en completamente aleatorio.

La tabla 3 también muestra que existen diferencias significativas en el contenido de catalasa (CAT), Ascorbato Peroxidasa (APX) y Guaiacol Peroxidasa (POX) para los diferentes tratamientos de sequía ($Pr < 0.01$) y para las 12 variedades nativas ($Pr < 0.01$). Asimismo, existe interacción tratamiento de sequía*variedad lo cual significa que las diferencias en contenido de las tres enzimas por efecto de los diferentes tratamientos de sequía no son las mismas para todas las variedades.

Se compararon las medias de la actividad enzimática de cada una de las tres enzimas para todos los tratamientos de sequía (10 días de sequía, 20 días de sequía y sus respectivos testigos) y para todas las variedades. Las variedades se agruparon en base a la previa comparación de medias para severidad en resistentes (Imilla Lunku, Sakampaya La Paz, Sakampaya Cochabamba, Puka Taca, Kusillo, Yana Qoyllu y Yana Sutamari) y susceptibles (Kellu Zapallo, Yurima, Chiara, Pinta Boca y Waycha) con el propósito de observar las posibles diferencias en el patrón de actividad enzimática entre resistentes y susceptibles.

Para la CAT se observa que todas las variedades resistentes al estrés de 10 días de duración a excepción de Puka Taca mostraron un incremento en la actividad de la enzima. Sakampaya Cochabamba, Yana Qoyllu y Yana Sutamari registraron incrementos significativos (59 – 200%). En cambio, Imilla Lunku, Kusillo y Sakampaya La Paz tuvieron incrementos no significativos (8 -28%). En el caso de la sequía de 20 días de duración todas las variedades incrementaron la actividad de la CAT a excepción de Sakampaya Cochabamba. El incremento de la actividad enzimática fue significativo para Yana Sutamari y Yana Qoyllu (36 y 61%) y no significativo para Imilla Lunku, Sakampaya La Paz, Puka Taca y Kusillo (3 – 17%) (Figura 3).

Por otra parte, todas las variedades susceptibles, excepto Pinta Boca, disminuyeron la actividad enzimática de CAT al cabo de la sequía de 10 días. El decremento de la actividad de CAT fue significativo para Kellu Zapallo, Chiara y Waych'a (46 - 63%) y no significativo para Yurima (1%). Para el tratamiento de 20 días de sequía, en general, se observa que la actividad de la CAT disminuye en todas las susceptibles. El decremento fue significativo para Waych'a y Pinta Boca (47 y 36%) y no significativo para Chiara, Kellu Zapallo y Yurima (15 -33%) (Figura 3).

Para la APX se observa que las variedades resistentes Imilla Lunku, Sakampaya La Paz, Yana Sutamari y Yana Qoyllu incrementaron su actividad enzimática para ASPX después del estrés de 10 días de duración. Ninguna sin embargo, obtuvo un incremento significativo (7 – 15%). Las demás variedades resistentes (Sakampaya Cochabamba, Kusillo y Puka Taca) registraron por otra parte decrementos no significativos (0.02 -16%). En el caso de la sequía de 20 días de duración todas las variedades resistentes incrementaron la actividad de la APX. El incremento de la actividad enzimática fue significativo solamente para Sakampaya La Paz (17%) y no significativo para el resto (Sakampaya Cochabamba, Puka Taca, Kusillo, Yana Sutamari y Yana Qoyllu) (3 – 11%) (Figura 4).

En cambio, todas las variedades susceptibles registraron reducción de la actividad enzimática para el tratamiento de 10 días de sequía. Kellu Zapallo fue la única variedad susceptible que redujo su actividad enzimática de manera significativa (14%). Las demás variedades registraron reducciones no significativas (4 - 11%). Para el tratamiento de 20 días de sequía, todas las variedades susceptibles en general disminuyeron la actividad enzimática de ASPX de forma no significativa (4 -10%) (Figura 4).

Finalmente, en el caso de la actividad de la enzima POX en las variedades resistentes, se observa que todas las variedades resistentes incrementaron la actividad de la enzima después de la sequía de 10 días a excepción de Puka Taca. Sin embargo, solamente Imilla Lunku y Yana Qoyllu obtuvieron incrementos significativos (56 y 70%). El resto de las variedades resistentes solo obtuvieron incrementos no significativos (6 – 26%). Para la sequía de 20 días en las variedades resistentes se observa que todas las variedades resistentes sin excepción incrementaron su actividad enzimática. Las variedades Imilla Lunku, Sakampaya Cochabamba, Sakampaya La Paz y Yana Qoyllu obtuvieron incrementos significativos (54 – 86%) y las variedades Kusillo, Puka Taca y Yana Sutamari incrementos no significativos (19 – 38%) (Figura 5).

Todas las variedades susceptibles a excepción de Yurima redujeron la actividad enzimática de la POX después de

la sequía de 10 días de forma no significativa (4 – 22%). Para la sequía de 20 días de duración, todas las variedades redujeron la actividad enzimática de la POX. Sin embargo, la única variedad que redujo la actividad enzimática de manera significativa fue Kellu Zapallo (66%), las demás variedades susceptibles redujeron su actividad enzimática de manera no significativa (11 – 23%) (Figura 5).

En la tabla 4 observamos que en las variedades resistentes, la actividad de las tres enzimas se correlaciona alta y negativamente con la severidad. Esto significa que a menor severidad (mayor resistencia) existe un incremento en la actividad de las tres enzimas. También se observa que la actividad de la enzima POX bajo estrés hídrico en estas variedades resistentes se correlaciona alta y positivamente con la actividad de las enzimas CAT y APX. Esto significa que a mayor actividad de la POX existe mayor actividad de las otras dos enzimas.

En la tabla 5 se observa que en las variedades susceptibles existe una alta y negativa correlación de la severidad con la actividad de las enzimas APX y POX. Esto significa que a mayor severidad (mayor susceptibilidad) existe una disminución de la actividad de las dos enzimas en estas variedades susceptibles. En cambio, no existe correlación entre la actividad de las tres enzimas en estas variedades.

En general podemos observar que todas las variedades nativas resistentes incrementaron la actividad de las tres enzimas bajo ambos tratamientos de sequía con respecto a sus testigos. Por otra parte las variedades susceptibles redujeron la actividad enzimática para las tres enzimas.

También se observa que cuanto mayor es el grado de severidad menor es el contenido de las tres enzimas tanto para las variedades resistentes como para las susceptibles. Esto indicaría que aun dentro de las resistentes aquellas con menor severidad (mayor grado de resistencia) tenían mayor actividad enzimática que las demás variedades para una enzima dada. Del mismo modo, en las susceptibles, aquellas con mayor severidad mostraron menor actividad enzimática para una enzima dada.

Por lo tanto en las variedades resistentes la actividad de las enzimas CAT y APX está alta y positivamente correlacionada con la actividad de la enzima POX. Esto significa que la actividad de ambas enzimas incrementa simultáneamente con el incremento de la POX y probablemente comparten rutas metabólicas. En cambio, en las variedades susceptibles no existe correlación entre la actividad de ninguna de las tres enzimas. Esto significa que la actividad de cada una de estas tres enzimas tendría una ruta metabólica independiente.

Sin embargo, es importante considerar que la actividad enzimática puede variar por distintas causas, como el estadio fisiológico de la planta u órgano en el momento de la colecta y procesamiento de las muestras (independientemente de los requisitos tomados en consideración), y además por los factores ambientales como la temperatura, el pH y el estado hídrico de la planta, a ello se debe añadir el método empleado para la extracción y cuantificación enzimáticas, Shylesh y Padikkala (1999).

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se podría asumir que la resistencia a sequía en las variedades resistentes identificadas en el estudio estaría basada en el incremento de la actividad enzimática principalmente de CAT y POX y en menor grado de APX. En cambio, la falta de resistencia a sequía de las variedades susceptibles estaría dada por la reducción de la actividad de las tres enzimas y por consecuencia una sobreproducción de ROS.

Entre las resistentes podemos destacar a Yana Qoyllu, Yana Sutamari, Sakampaya La Paz, Sakampaya Cochabamba e Imilla Lunku como las variedades que presentan mayor incremento de actividad enzimática en una o más enzimas.

El tratamiento de sequía que causó mayor severidad fue el tratamiento de 20 días de duración.

Las accesiones con mayor resistencia al estrés hídrico en ambos tratamientos de estrés fueron Yana Sutamari y Yana Qoyllu.

Existe una correlación alta y negativa entre la severidad de daño por sequía y la actividad de las enzimas antioxidantes Catalasa (CAT), Ascorbato Peroxidasa (APX) y Guaiacol Peroxidasa (POX).

Referencias

Aebi H. Catalase in vitro. *Metho Enz.* 1983; (105): 121-126.

Arora A., Sairam R. K., Srivastava G. C. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science*, 2002; 82: 1227-1238.

Blum, A. Selection for sustained production in water deficit environments. 1993; *CropSci.* 1:343-347.

- Cabrera YA. Efecto de *Phytophthora capsici* sobre el metabolismo del glutatión en suspensiones celulares de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Univ. Autónoma de Yucatán. Mérida, México. Tesis de Licenciatura. 2006.
- Charco J. Una introducción al estudio de la velocidad de regeneración natural del bosque mediterráneo y de los factores antropozoógenos que la condicionan. In: J. Charco García (ed.). La regeneración natural del bosque mediterráneo en la península Ibérica. ARBA & Ministerio de Medio Ambiente. Ciudad Real. 2002; p. 115-152.
- Desikan R, Hancock JT & Neill SJ. Oxidative stress signaling. In H.Hirt and K. Shinozaki (eds.), Plant responses to abiotic stress: topic in current genetics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2003; p. 121-148.
- Foyer CH. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. Plant Cell Env. 2002; 28: 1056-1071.
- Frary A, Göll D, Keleş D, Ökmen B, Pınar H, Ö Şığva HÖ, Yemenicioğlu A & Doğanlar S. **Salt tolerance** in *Solanum pennellii*: antioxidant response and related QTL. *BMC Plant Biology*. 2010;10:58 – 74.
- Gabriel, J.; Porco, P.; Angulo, A.; Magne, J.; La Torre, J.; Mamani, P. Resistencia genética a estrés hídrico en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invierno. *Revista Latinoamericana de la Papa*. 2011;16(2):173–208.
- Hernandez JA, Jimenez A. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant Cell Env. 2000; 23: 853-862.
- Hung SH, Yu CW & Lin CH. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. Bot Bull Acad Sin. 2005;46: 1-10.
- Mano J. Early events in environmental stresses in plants-induction mechanisms of oxidative stress. Page 217-246 in Oxidative stress in plants, UK. 2002.
- Martinez-Garza A. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, México D.F., México. 1988; 756 p.
- Moller IM, Jensen P. Oxidative modifications to cellular components in plants. Ann Rev Plant Bio. 2007; 58: 459-481.
- Nakano Y and Asada K. Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in Ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. Plant Cell Physiol. 1987; 28(1): 131-140.
- Parry M, Rosenzweig C and Livermore M. Climate change, global food supply and risk of hunger. *Phil. Trans. Royal. Soc. B*. 2005; 360, 2125-2138, doi:10.1098/rstb.2005.1751.
- Perl-Treves R & Perl A. Oxidative Stress: An introduction in Inzé, D. and Van Montagu M. (ed). *Oxidative stress in plants*. London: Taylor & Francis. 2002; 1-32.
- Radwan, D.E.M. Salicylic acid alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by zucchini yellow mosaic virus infection in Cucurbita pepo leaves. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2006; 69 (4-6):172-181.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT Users Guide, Version 9.2, Fourth Edition, Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, N.C. 2004.
- Shylesh BS & Padikkala J Antioxidant and anti-inflammatory activity of *Emilia sonchifolia*. *Fitoterapia*. 1999; 70 (3):275.
- Sies H. Oxidative Stress: From Basic Research to Clinical Application. *Amer. J. Med.* 1991; 91, 31-38.
- Smirnoff N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule. *Current Op Plant Biol*. 2000; 3: 229–235.
- Terán H y Singh SP. Biotecnología V14 CS3.indd 262 en Crop Sci. 2002; 42: 64-70.
- Toumi I, Moschou PN, Paschalidis KA. Abscisic acid signals reorientation of polyamine metabolism to orchestrate stress responses via the polyamine exodus pathway in grapevine. *J Plant Physiol*. 2010; 167: 519-525.
- Vogiatzi G [Dimitris DT](#) and Christodoulos CS. The role of oxidative stress in atherosclerosis hellenic. *J. Cardiol*. 2009; 50:402.
- Zhang JY, Broeckling CD, Blancaflor EB, Sledge MK, Sumner LW, Wang ZY. Overexpression of WXP1, a putative *Medicago truncatula* AP2 domain-containing transcription factor gene, increases cuticular wax accumulation and enhances drought tolerance in transgenic alfalfa (*Medicago sativa*). *The Plant Journal*. 2005; 42, 689–707.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Procesos de eliminación y disminución de especies activas de oxígeno en plantas.

Mecanismo de eliminación	Localización
O ₂ ⁻ por superóxido dismutasa	Cloroplasto, mitocondria, citoplasma, peroxisoma, apoplasto
H ₂ O ₂ por la ascorbato peroxidasa	Cloroplasto, mitocondria, citoplasma, peroxisoma, apoplasto
H ₂ O ₂ por la catalasa	Peroxisoma
H ₂ O ₂ por peroxidases	Pared celular, citoplasma, vacuola
H ₂ O ₂ por tioredoxina peroxidasa	Cloroplasto, citoplasma, mitocondria
H ₂ O ₂ y O ₂ ⁻ por ácido ascórbico	Cloroplasto, citoplasma, mitocondria, peroxisoma, apoplasto
H ₂ O ₂ por el glutatión	Cloroplasto, citoplasma, mitocondria, peroxisoma, apoplasto
ROOH y O ₂ ⁻ por el α-tocoferol	Membranas
O ₂ ¹ por carotenoides	Cloroplasto

Tabla 2. Componentes de varianza de grado de severidad para 12 genotipos nativos de papa sometidos a tres niveles de sequia bajo invernadero.

F.V.	GI	C.M.	σ ²
Grado de Severidad			
Bloque	5	0,017	<0,001
Sequia	2	26,202**	
Genotipo	11	0,031**	
Bloque*Sequia	10	0,004	0
Sequia*Genotipo	22	0,001**	
Residual	144	0,004	0,004
C.V.		5,722	
R ²		0,988	

*= Significativo (Pr<0,05), **=Altamente significativo (Pr<0,01).

Tabla 3. Componentes de varianza de la actividad de las enzimas antioxidantes: Catalasa (CAT), Ascorbato Peroxidasa (APX) y Guaiacol Peroxidasa (POX) para 12 genotipos nativos de papa sometidos a tres niveles de sequia bajo invernadero.

F.V.	GI	CAT		APX		POX	
		C.M.	σ ²	C.M.	σ ²	C.M.	σ ²
Bloque	5		0		<0.001		0
Sequia	3	52**		0,122**		0,218**	
Genotipo	11	179,519**		0,012**		0,027**	
Bloque*Sequia	6		0		<0.001		<0,001
Sequia*Genotipo	33	1,44**		0,002**		0,008**	
Residual	88	2,529	2,529	<0.001	<0.001		<0,001
C.V.		8,351		0,679		1,309	
R ²		0,936		0,948		0,959	

*= Significativo (Pr<0,05), **=Altamente significativo (Pr<0,01).

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson para la actividad de tres enzimas en siete variedades nativas de papa resistentes a sequia y sometidas a dos tratamientos de estrés hídrico en pre-tuberización

	CAT	APX	POX
Severidad	-0,407	-0,541	-0,533
	0,007	0,000	0,000
CAT	1,000	0,369	0,465
	0,000	0,016	0,002
APX	0,369	1,000	0,818
	0,016	0,000	0,000

Las variables en negrillas son las que mostraron mayor correlación.

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson para la actividad de tres enzimas en cinco variedades nativas de papa susceptibles a sequía y sometidas a dos tratamientos de estrés hídrico en pre-tuberización.

	CAT	APX	POX
Severidad	-0,136	-0,553	-0,539
	0,474	0,002	0,002
CAT	1,000	0,461	0,021
	0,000	0,010	0,911
APX	0,461	1,000	0,218
	0,010	0,000	0,248

Las variables en negrillas son las que mostraron mayor correlación

Figura 1. Grado de severidad para tres diferentes niveles de sequía aplicados bajo invernadero en 12 genotipos nativos de papa.

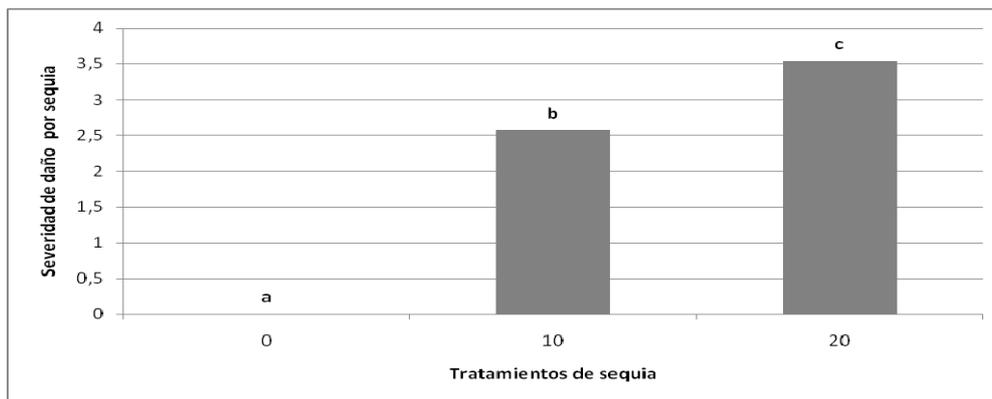


Figura 2. Grado de severidad para 12 genotipos nativos sometidos a 10 y 20 días de sequía bajo invernadero.

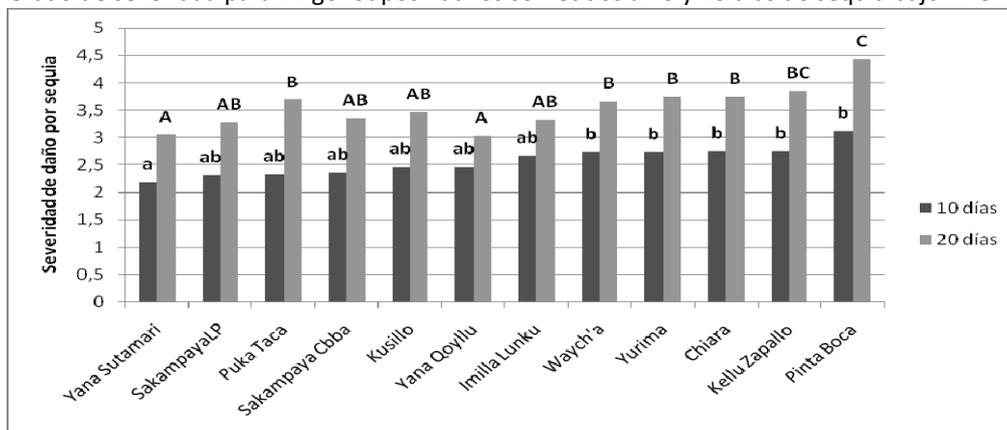


Figura 3. Actividad enzimática de la Catalasa (CAT) para dos tratamientos de sequia y sus respectivos testigos aplicados en doce variedades nativas de papa.

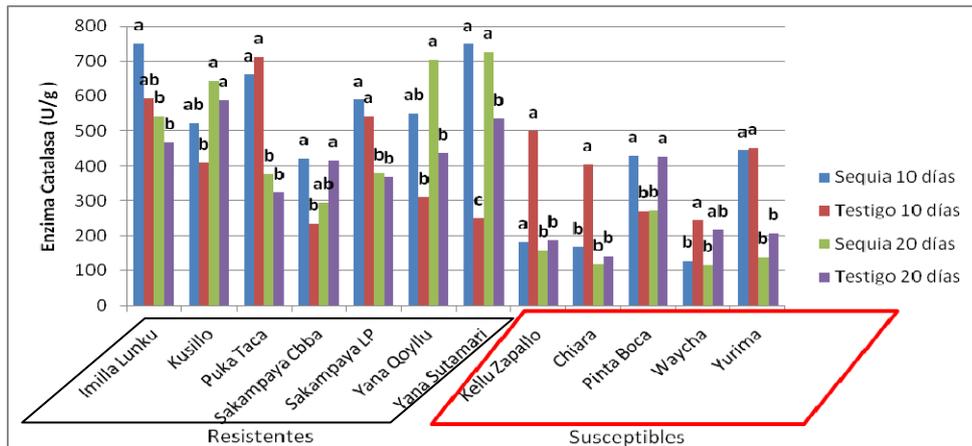


Figura 4. Actividad enzimática de la enzima de la Ascorbato peroxidasa (AsPx) para dos tratamientos de sequia y sus respectivos testigos aplicados en doce variedades nativas de papa.

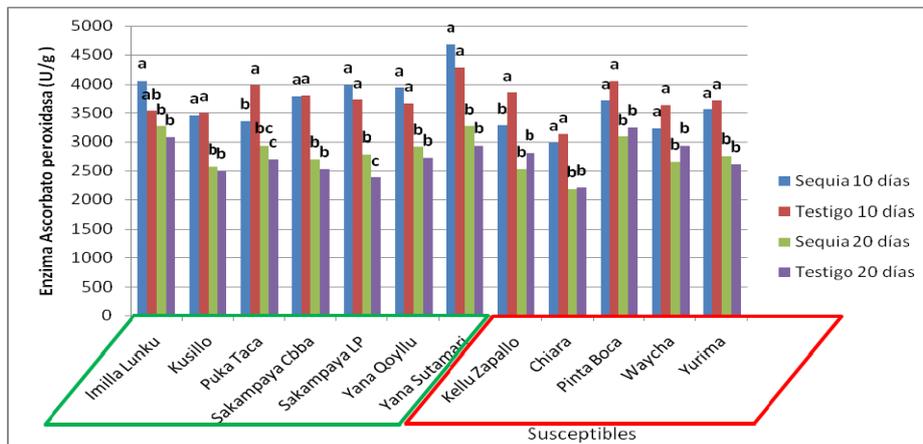
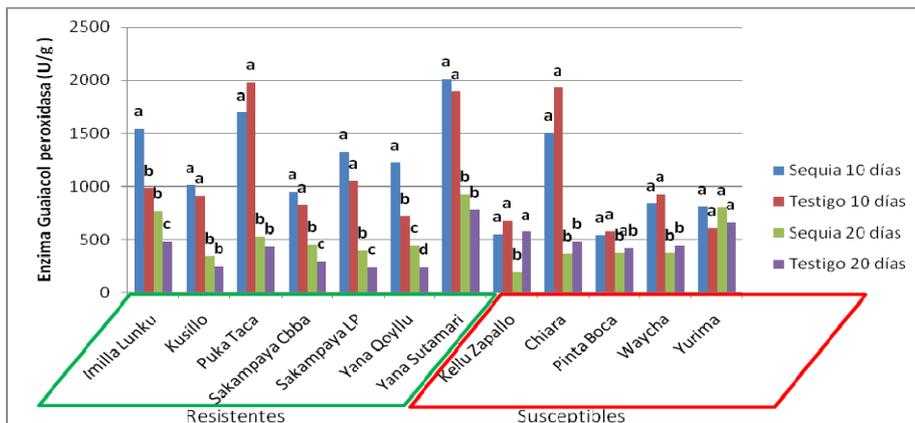


Figura 5. Actividad enzimática de la enzima de la Guaiacol peroxidasa (POX) para dos tratamientos de sequia y sus respectivos testigos aplicados en doce variedades nativas de papa en pre-tuberización.



Identificación de materiales tolerantes a sequía y heladas por evaluaciones en condiciones de invernadero en Bolivia

Julio Gabriel⁸, Ada Angulo⁸, José Velasco⁸, Silene Veramendi⁹, Jorge Rojas¹⁰, Delphine Jaunard¹¹

Compendio

En condiciones controladas, se evaluaron materiales de la colección de papa nativa a condiciones de estrés hídrico en invernadero. 154 accesiones fueron sometidas a estrés, y se identificaron un grupo de 12 materiales con mayor tolerancia a la sequía, estos son: Alqa Pali, BOL 1643 (n°47) ; Amajana, BOL 3208 (n°51) ; Wila Chojllu, BOL 3206 (n°73) ; Chaska Zapallo, BOL 2791 (n°86) ; Qetu Luki, BOL 4710 (n°87) ; Alqa Pali, BOL 1363 (n°114) ; Imilla Blanca, BOL 3659 (n°115) ; Cuchi Aca, BOL 5200 (n°133), Condor Papa, BOL 5052 (n°134), Yana Goyllu, BOL 4960 (n°135) ; Churi Zapallo, BOL 5184 (n°141) y Luki Redonda, BOL 3005 (n°147). Así mismo se identificaron también las accesiones más sensibles a la sequía y fueron: Gendarme, BOL 63 (n°1) ; Toralapa, BOL 2616 (n°22), Malkacho, BOL 3209 (n°34) ; Chejchi, BOL 1335 (n°41) ; Malkacho, BOL 2868 (n°62) ; Wayku, BOL 2330 (n°63) ; Chitico, BOL 2801 (n°64), Puka Chuchuli, BOL 29 (n°65) ; Piñu, BOL 2653 (n°79) ; Qaysalla, BOL 3395 (n°100); Candelero, BOL 5062 (n°138) y Pinta Boca, BOL 4827 (n°139).

Materiales seleccionados con mayor tolerancia a sequía (6) del grupo anterior y a heladas (11) seleccionados de evaluaciones previas al proyecto, fueron sometidos en conjunto a una segunda evaluación sobre reacción al estrés hídrico por sequía y a la simulación de heladas por corte de follaje en condiciones de invernadero, para determinar si los genes de resistencia a helada son los mismos que para resistencia a sequía. El ensayo de sequia estuvo conformado por tres niveles de estrés: con riego, 10 y 20 días sin riego. El diseño empleado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas, donde las parcelas principales fueron los tres tratamientos de sequia y las subparcelas las dieciséis accesiones. Una unidad experimental estaba conformada por tres macetas cada una con una planta. Las variables de respuesta empleadas fueron severidad de daño por sequia, número de tallos, número de ramas, contenido de clorofila y rendimiento (número, peso y volumen de tubérculos). El ensayo de simulación de cortes también estuvo conformado por tres tratamientos (0, 50 y 100%). El diseño empleado también fue el de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas donde las parcelas principales fueron los tres tratamientos de corte y las subparcelas las dieciséis accesiones. Las variables de respuesta evaluadas fueron número y peso de tubérculos. En el ensayo de sequia se observó que el tratamiento de 20 días sin riego causó mayor severidad y que la accesión Bol 5052 fue la más resistente bajo ambos tratamientos de sequia. Por otra parte, las accesiones Bol 1335 y 3522 obtuvieron mayores rendimientos bajo sequia. En el ensayo de cortes, se observó que los niveles de corte de follaje del 50 y 100% causaron el mismo grado de reducción en rendimiento con respecto al testigo y que las accesiones Bol 1335 y 1246 obtuvieron mayores rendimientos bajo corte de follaje como efecto de simulación de helada. Aparentemente existe una significativa aunque baja correlación entre los genes que gobiernan la resistencia a sequia y aquellos que gobiernan la tolerancia a pérdida de follaje.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo sembrado, en más de cien países. La importancia de la papa radica en que sus tubérculos son parte de la dieta de millones de personas a nivel mundial, contiene 80% de agua y la MS constituida por carbohidratos, proteínas, celulosa, minerales, además son utilizadas en la industria para la producción de almidón.

En la actualidad el cultivo papa se constituye en uno de los más importantes productos de la economía y alimentación boliviana. Su cultivo se extiende a más de 125.000 ha y su producción anual oscila de 700.000 a 900.000 t con un rendimiento a nivel del país de 6.18 t/ha, de las cuales sobresalen las variedades Waych'a (*S. tuberosum* ssp. *andigena*) y Désirée (*S. tuberosum* ssp. *tuberosum*). En Europa y Norte América, los rendimientos de papa alcanzan entre 20 y 30 t/ha (Hooker, 1982).

Es claro que las variedades producidas comercialmente en Bolivia, son de bajo rendimiento, cultivados en nichos particulares, y no adaptados en una amplitud de zonas, sin atributos de resistencia a factores

⁸ Responsable e investigadores del Programa de Mejoramiento genético de papa PROINPA

⁹ Investigadora del laboratorio de biología molecular PROINPA

¹⁰ Ex-investigador del laboratorio de biología molecular PROINPA

¹¹ Estudiante (tesista) de la Université de Liege (Gembloux Agro Biotech)

restrictivos importantes como la sequía y las heladas. A esto se suma el nulo o poco uso de semilla de calidad o semilla certificada, por los altos costos que implica y por la poca o ninguna disponibilidad de semilla certificada (Gabriel, 2010).

Se reconoce que en los andes de Bolivia, los agricultores aún conservan muchos cultivares nativos de las ocho especies conocidas, las mismas que son usadas para su alimentación y seguridad alimentaria. Sin embargo, poco se conoce acerca de los atributos de resistencia a los factores bióticos y abióticos que afectan a la papa y menos aun se han utilizado en los programas de mejora genética de papa en el mundo (Estrada, 2000).

Uno de los factores abióticos que más afecta en Bolivia es el estrés hídrico por sequía. El INE (2008) reportó 351 casos de sequía en el año 2002 y 651 casos en el año 2007. Así mismo, la misma fuente (INE, 2008) reportó 7.043 familias afectadas por la sequía en el año 2002 y 37.638 familias afectadas en el año 2007. Estos incrementos de casos y familias afectadas por sequía probablemente se deban a un cambio de clima. Por lo que la sequía es una limitante que ejerce el medio ambiente sobre la producción de papa en las áreas tradicionales de cultivo, influyendo en el desarrollo del mismo y causando pérdidas de rendimiento y calidad de tubérculos (Ekanayake, 1993).

Mamani (2000) encontró que el efecto de una sequía temprana (sequía pre-tuberización) ocasionaba tubérculos más pequeños tanto en variedades sensibles como en tolerantes en referencia a una sequía tardía (sequía aplicada un mes después de la tuberización).

Miller y Martin (1987) encontraron que en un contexto de sequía muy marcada, la papa amarga Luki (*So. x juzepczukii*) mostró un mejor comportamiento que la papa dulce Sani Imilla (*S. andigena*). Esta mejor adaptación a la sequía, es debida probablemente a un sistema radicular más desarrollado que le permite extraer con más fuerza el agua del suelo.

Ceccarelli (1984) menciona que para enfrentar el problema de sequía, existen dos alternativas: optimizar el uso de agua y/o generar variedades genéticamente resistentes y/o tolerantes a sequía. La opción concerniente al manejo del agua se aplica específicamente para cultivos bajo riego. En cambio, para los suelos a secano, se contaría únicamente con la opción genética que permitiría lograr rendimientos estables en condiciones de ambientes contrastantes. Para la obtención de variedades resistentes y/o tolerantes a sequía se requiere del uso de germoplasma con estas características.

La helada es la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0 °C a un nivel de 1,5 a 2,0 m sobre el nivel del suelo (Artunduaga 1982 y Torrez 1995). La helada podría definirse desde el punto de vista agro meteorológico como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño; sin embargo, la severidad del daño depende además de otros factores, como ser: el estado de desarrollo vegetativo y tipo de cultivo, condiciones del suelo y duración de la heladas entre otros; por tanto, es difícil establecer la temperatura crítica para cada cultivo.

En Agroclimatología se distinguen heladas por advección y por radiación. Las heladas por advección ocurren por la invasión de aire frío durante el día o la noche y están acompañadas por vientos. Las heladas por radiación, típicas de las regiones tropicales, se originan por la pérdida de calor que sufren las plantas y el suelo, durante la noche, a través del proceso de radiación; este tipo de helada es favorecida por algunas condiciones locales como viento en calma, cielo despejado y baja humedad atmosférica (Dominguez 2010).

Las heladas por radiación se subdividen en heladas blancas y negras. Cuando la temperatura desciende por debajo de cero y la humedad relativa es alta, el rocío depositado en las hojas de los cultivos pasa a formar cristales de hielo y da lugar a la escarcha, produciéndose lo que se denomina helada blanca. En el caso de las heladas blancas en las que ha ocurrido formación de hielo, este tiene un efecto favorable al ceder a la planta el calor latente de fusión en el cambio de estado de agua a hielo, ochenta calorías por gramo. En cambio, cuando se produce una helada negra, los vegetales afectados muestran un ennegrecimiento de los órganos afectados. En este tipo de helada, la humedad atmosférica es baja y el agua alcanza cero grados centígrados, antes de que se haya formado el rocío. Este tipo de helada es muy frecuente en las zonas productoras de papa de Bolivia.

El daño por heladas es un importante problema en la producción de papa en latitudes altas y en áreas de latitudes bajas. En el altiplano boliviano el máximo periodo sin riesgo de heladas es de 20 días. El ciclo de la papa, después de la emergencia es de 135 días, este cultivo tiene, en esta estación, una probabilidad de más del 30 % de que su desarrollo sea interrumpido por una helada (Le Tacon *et al* 1991).

Las pérdidas por las heladas en los Andes (-3 °C a -4 °C) causan una reducción estimada de la producción anual de 30% en promedio (PROINPA, 1996; Estrada 2000). El principal daño ocurre por el necrosamiento del follaje, lo que origina una reducción del área fotosintética y retraso en el crecimiento de los tubérculos. Los daños por congelación en tubérculos de papa pueden que no sean evidentes externamente, pero se muestran manchas grisáceas o gris-azuláceas debajo de la piel (Snyder y Melo-Abreu 2010). Asimismo, los tubérculos descongelados se vuelven blandos. Se ha admitido, para la variedad Sani Imilla (variedad muy divulgada en el Altiplano) una destrucción de la planta a -3°C, durante el crecimiento vegetativo hasta la floración y a -2 °C después de la floración (Le Tacon *et al* 1991).

El uso de variedades tolerantes a heladas podría disminuir estas pérdidas. Se ha evidenciado la existencia de valiosas fuentes de tolerancia a heladas en especies cultivadas de *S. andigena*, *S. stenotomum*, *S. ajanhuiri*, *S. x curtilobum* y *S x juzecpezukii* (Gabriel *et al.*, 1998; Ochoa, 2001). Estrada (2000) menciona que hay al menos unas 15 especies resistentes en los Andes que toleran bajas temperaturas de -5 °C hasta -7 °C por 2 a 3 horas y se pueden cruzar con las especies cultivadas diploides. Durante más de 20 años utilizó varias de estas especies en cruzamientos con unos 35 cultivares de *S. phureja* y *S.stenotomum* en trabajos efectuados en el CIP (Perú), en el ICA (Colombia) y en PROINPA (Bolivia).

La principal causa en la naturaleza del daño por helada a las plantas es la formación de hielo extracelular, que produce un estrés de agua secundario a las células adyacentes. De hecho, hay una estrecha relación entre las plantas tolerantes a la sequía y las plantas tolerantes a la congelación (Snyder y Melo-Abreu 2010).

La colección de papa en Bolivia es una fuente genética valiosa para la identificación de materiales con aptitudes de resistencia/tolerancia a diferentes limitantes. En años previos, la colección fue afectada naturalmente por heladas en campo, lo cual fue aprovechado para elegir un grupo de accesiones interesantes con tolerancia a este factor. En el transcurso del proyecto, parte de la colección seleccionada previamente fue sometida a evaluaciones a sequía y heladas en invernadero para hacer otro tamizado de los materiales más promisorios. En un primer año del proyecto se hizo evaluaciones a sequía de un grupo de 154 accesiones, en un segundo año seis de las que fueron seleccionadas como tolerantes a sequía (del grupo de 154) y once como tolerantes a heladas en años previos fueron evaluadas en conjunto para ambos factores abióticos. Esto con el propósito de determinar si los genes de resistencia a helada son los mismos que para resistencia a sequía.

Materiales y métodos

1. Evaluación de 154 accesiones de papa a condiciones de sequía en invernadero

Las 154 accesiones evaluadas (Tabla 1) fueron elegidas del banco de tubérculos y raíces andinas que estaba bajo custodia de la Fundación PROINPA hasta julio del 2010 (actualmente el banco está bajo custodia del INIAF). Para cada accesión se sembraron cuatro repeticiones en macetas de 2 litros de capacidad. En cada caso la cuarta repetición correspondió al testigo.

Se tomaron las temperaturas mínimas y máximas registradas durante el periodo de evaluación.

Se evaluó cualitativamente la tolerancia al estrés hídrico por un periodo de 4 semanas. Para la evaluación se tomó una escala de 1 a 5, describiendo el estado general de la planta y de su follaje. La descripción correspondiente a cada valor de la escala se detalla en Tabla 2.

Durante la última semana se llevó a cabo una segunda evaluación cualitativa basada en el color y estado de desecación del tallo. La escala utilizada va de la A a la D. La Tabla 3 detalla las características de cada valor de la escala.

Durante todo el periodo de evaluación cada maceta fue pesada dos veces por semana, con el propósito de determinar la rapidez con la que las plantas utilizaban el agua. El primer día se regaron todas las plantas hasta su capacidad de campo y se procedió a pesarlas por primera vez al día siguiente. A partir de entonces cada planta fue evaluada y pesada en intervalos regulares realizando un total de once evaluaciones con la escala I, tres evaluaciones con la escala II y siete pesajes de cada planta. Luego de la décima evaluación con la escala I todas las plantas fueron regadas y nuevamente evaluadas una semana después. Por otro lado los testigos fueron regados con regularidad durante todo el experimento.

Análisis de los resultados

Los datos obtenidos de peso de las plantas y de las evaluaciones con las escalas I y II fueron sintetizados en una matriz y analizados estadísticamente para identificar las accesiones más resistentes y las más susceptibles a sequía. Se realizó así un análisis de varianza de dos criterios de clasificación con ayuda del software Minitab 15.

Con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza, se realizaron también análisis de correspondencias múltiples y análisis de componentes principales mediante el programa SAS, para los datos obtenidos para la Escala I.

2. Evaluación de 16 accesiones de papa a sequía y heladas en invernadero

El trabajo de investigación se realizó en el año agrícola 2011 en uno de los invernaderos de la Fundación PROINPA (zona de El Paso), a 15 km de la ciudad de Cochabamba provincia de Quillacollo del departamento de Cochabamba (Bolivia), comprendido entre los paralelos 17° 18' de latitud Sud, y 66° 14' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 2 540 msnm.

Se utilizaron dieciséis accesiones de la colección de trabajo (Tabla 1).

La siembra se realizó en Noviembre del 2012, los tubérculos fueron sembrados en macetas de dos kilogramos. Cada unidad experimental estuvo constituida por tres macetas.

En ambos casos (sequía y helada) la parcela se implementó en un diseño de bloque completos al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas principales fueron tres (tres tratamientos de sequía en el caso de sequía y tres tratamientos de corte en el caso de corte) y las subparcelas fueron las dieciséis accesiones de la colección de trabajo.

Para el ensayo de sequía los tres tratamientos de sequía consistieron en 0, 10 y 20 días sin riego. Para el ensayo de heladas, los tratamientos consistieron en 0%, 50% y 100% de corte del follaje.

En el desarrollo del cultivo se realizó un aporque, en la fase de llenado de tubérculo. Se hizo el deshierbe según el requerimiento del cultivo, y el manejo fue el mismo para toda las parcelas principales.

Ambos ensayos iniciaron los tratamientos de estrés a los 75 días después de la siembra (inicio de tuberización) que es la etapa más sensible en la papa.

Para el ensayo de sequía se evaluaron las siguientes variables de respuesta: Severidad o grado de marchitez (GM) que se evaluó según la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo (2009), una vez finalizado el periodo de sequía, Contenido de Clorofila (CC) que se midió con el SPAD-520 en hojas de la parte media de la planta una vez que las plantas terminaron el tratamiento de sequía (Gonzales, 2009), Número de hojas (NH) y ramas (NR) y altura de planta (AP) que se evaluaron una vez terminado el periodo de sequía. También se evaluaron los componentes de rendimiento en la cosecha. Los componentes de rendimiento evaluados fueron: Rendimiento (Y), número (NT) y volumen de tubérculos (VT).

Para el ensayo de heladas las variables de respuesta fueron: Rendimiento (Y), número (NT) y volumen de tubérculos (VT).

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o se aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando los Proc GLM y Mixed del SAS v 9.2 (SAS, 2008). También se realizó un análisis de correlación entre la variable GM y las demás variables de respuesta con el objetivo de determinar que variables están significativamente relacionadas y en que grado con el GM.

Resultados y discusión

1. Evaluación de 154 accesiones de papa a condiciones de sequía en invernadero

El análisis de varianza realizado mostró que existe interacción entre el factor tiempo y el factor accesión ($P < 0.05$ e igual a 0.004), es decir que cada accesión se comporta de manera diferente con respecto al tiempo (Tabla 4). El P value del factor accesión claramente comprueba que cada accesión se comporta de manera diferente frente al estrés hídrico.

La Figura 1 muestra la evolución de las medias obtenidas durante las 11 evaluaciones realizadas a cada una de las tres repeticiones de las 154 accesiones evaluadas. Obsérvese que las medias de cada accesión se comportan de manera diferente. Se puede suponer que las accesiones que tienen un promedio elevado son las primeras

en morir por ser más susceptibles al estrés hídrico, mientras que las que poseen promedios más bajos tolerarían mejor la falta de agua. Es así que las accesiones más sensibles al estrés hídrico serían las número 1, 22, 34, 41, 62, 63, 64, 65, 79, 100, 139 y 138, cuya correspondencia se indica en la Tabla 1.

Del mismo modo se determina que las accesiones más resistentes a la sequía serían: 47, 51, 57, 73, 86, 87, 114, 115, 133, 134, 135, 141 y 147. Cuya correspondencia se detalla en la Tabla 1.

La Figura 2 muestra la evolución de las medias de las accesiones 65 y 139, ambas con promedios altos. Obsérvese que en ambos casos las curvas suben rápidamente lo que indica que las plantas al ser más susceptibles al estrés hídrico mueren más rápidamente. Las curvas de las accesiones con promedios similares se comportaron de manera similar.

Las accesiones 25 y 60 tuvieron medias normales y sus curvas se incrementan sobre todo entre las evaluaciones 3 y 6 (Figura 3). Se puede indicar que estas accesiones resisten inicialmente al estrés hídrico y luego tienden a morir lentamente. Similar comportamiento tuvieron las curvas de accesiones con medias similares.

Las accesiones 134 y 47 poseen curvas que crecen solamente durante la evaluación 5. Aparentemente habrían resistido más el estrés hídrico a comparación del resto de los individuos evaluados, siendo por tanto resistentes a la sequía (Figura 4).

Observaciones concernientes a la escala II

Para realizar el análisis de varianza se consideró 462 poblaciones (154 accesiones x 4 evaluaciones). Para esta escala se demostró también que existe interacción entre el factor tiempo y el factor accesión, siendo así que cada accesión se comporta de manera diferente a lo largo del periodo de evaluación. Si observamos la evolución de las medias para la escala II, claramente se evidencia la marchitez de las plantas en el transcurrir del tiempo. (Figura 5)

La figura 6 muestra que las medias obtenidas en la evaluación para la escala II son diferentes para cada accesión. Analizando la evolución de las medias de las accesiones más resistentes al estrés hídrico serían: 14, 22, 27, 28, 41, 42, 45, 50, 51, 52, 54, 71, 72, 73, 74, 80, 82, 86, 87, 88, 98, 99, 109, 11, 113, 114, 129, 133, 134, 135, 141, 146, 147. Estas accesiones presentaron las medias más bajas para las evaluaciones realizadas en la Escala II (Figura 6).

Análisis de peso

El análisis de varianza realizado (Tabla 5) muestra que existe relación entre el factor tiempo y el factor accesión. Las plantas pierden peso a lo largo de la evaluación siguiendo un patrón similar.

La Figura 7 muestra como las medias de los pesos de las macetas evaluadas disminuyen a través del tiempo.

Al analizar la evolución de las medias encontramos que algunas de las 154 accesiones poseen promedios más altos, vale decir que podrían corresponder a individuos capaces de economizar más el agua. Entre las mismas se encontrarían las accesiones 47, 114, 115, 133, 134 y 141 (Figura 8). Nótese que todas ellas fueron antes destacadas para las evaluaciones de la Escala I y la Escala II.

2. Evaluación de 16 accesiones de papa a sequía y heladas en invernadero

Sequía

La estimación de los componentes de varianza para la variable severidad (Tabla 6) mostró efecto de parcela principal ($\sigma^2_{blq} * seq < 0.001$), esto significa que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas fue el apropiado para controlar dicha variación.

Asimismo, se observa que existieron diferencias significativas entre los efectos de las tres diferentes sequías sobre los diferentes genotipos ($Pr < 0.01$).

Siendo que la sequía de 20 días causó mayor severidad (4,45) que la sequía de 10 días (3,15) y esta última mayor severidad que el testigo (0), se podría aseverar que a mayor duración de la sequía mayor fue el efecto de ésta sobre los 16 genotipos (Fig. 9).

El análisis de varianza (Tabla 7), también mostró que existió interacción sequía x genotipo. Esto significa que el efecto de cada tratamiento de sequía fue diferente en los diferentes genotipos ($Pr < 0.01$). Esto mostró que las genotipos nativos de mayor resistencia y los de mayor susceptibilidad fueron diferentes en las dos diferentes

sequías (10 y 20 días) (Fig. 10). Esto significaría que la resistencia a la sequía en estos genotipos nativos estaría en función a la duración de la misma.

En la figura 10 se hizo una comparación de las severidades obtenidas para los 16 genotipos bajo cada uno de los tratamientos y se observó que en el tratamiento de 10 días, los genotipos más resistentes fueron BOL 5052 y BOL 3206 (<2,5). Los restantes 14 genotipos obtuvieron mayores severidades (>2,7). Por otra parte, para el tratamiento de 20 días, el único genotipo que obtuvo una severidad moderada fue BOL 5052 (<4). La interacción tratamiento de sequia por genotipo se observa claramente en genotipos como BOL 3206 y BOL 3659. Para el primer genotipo existe una sustancial diferencia entre la magnitud de la severidad bajo el tratamiento de 10 días (2,11) y el tratamiento de 20 días (4,1). Esto significaría que este genotipo resistiría sequias de duración moderada y no así sequias prolongadas. El segundo genotipo, presenta una diferencia estrecha entre la severidad bajo el primer tratamiento (3,44) y el segundo tratamiento (4,32), esto significa que este genotipo es susceptible a la sequia independientemente de la duración de la misma.

De acuerdo a los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 8) para la sequía de 10 días, la severidad estuvo alta y negativamente relacionada con el número de hojas y número de ramas. Esto significa que los genotipos que tenían mayor severidad redujeron el número de hojas y ramas. Otra variable que estuvo altamente correlacionada con severidad fue el contenido de clorofila. Esta variable se asoció positivamente con la severidad. Esto significa que a mayor severidad hubo mayor contenido de clorofila.

En el caso de la sequia de 20 días, la severidad también se asoció alta y positivamente con el contenido de clorofila (Tabla 9); esto indicaría que cuanto mayor fue la severidad, mayor fue el contenido de clorofila. Por otra parte, la severidad se asoció también nuevamente alta y negativamente con el número de ramas y de hojas. Esto indica que la sequia de 20 días al igual que la de 10 redujo el número de ramas y hojas. Estas dos variables vendrían a ser las más sensibles a la sequia en estos genotipos.

El análisis de varianza para los componentes de rendimiento (Tabla 10) muestra que la estimación de los componentes de varianza para la variable rendimiento (Kg/maceta) (Tabla 10) mostró efecto de parcela principal ($\sigma^2_{blq*seq} = 0.371$), esto significa que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas fue el apropiado para controlar dicha variación.

Asimismo, se observa que existieron diferencias significativas entre los efectos de las tres diferentes sequías sobre los diferentes genotipos ($Pr < 0,07$). Sin embargo, estas diferencias fueron al 90% de confianza. Al realizar las comparaciones entre medias para los tratamientos se observó que el tratamiento de la sequía de 20 días obtuvo menor rendimiento que los tratamientos de sequía de 10 y 0 días. Se podría aseverar que solamente un estrés de 20 días puede ocasionar una reducción en el rendimiento de estos 16 genotipos. Por otra parte el estrés de 10 días no produjo ninguna reducción en el rendimiento. Solo un estrés de larga duración reduciría el rendimiento de estos 16 genotipos (Fig. 11).

En la figura 12 se hizo una comparación de los rendimientos obtenidos para los 16 genotipos bajo cada uno de los tratamientos y se observó que los genotipos que experimentaron reducción en sus rendimientos bajo el tratamiento de 20 días de sequia fueron: BOL 107, BOL 3848 y BOL 3199. Por otra parte, el tratamiento de 10 días no redujo el rendimiento en ninguno de los genotipos. Por el contrario, se observó que en el genotipo 3448 un incremento sustancial en el rendimiento con el tratamiento de 10 días. Sin embargo, este incremento no fue significativo con respecto al testigo. En general, se observa que el rendimiento de la mayoría de los genotipos fue ligeramente mayor bajo el tratamiento de 10 días aunque no hubiera diferencias estadísticas. Esto podría explicarse por las elevadas temperaturas que se registraron durante el tratamiento de sequia. Estas elevadas temperaturas pudieron haber causado estrés en el testigo. Por otra parte, el tratamiento de 10 días ocasionó reducción en el número de hojas y tallos y por tanto las plantas redujeron la evapotranspiración. Una previa exposición a un estrés (sequia) ayudó a las plantas a soportar mejor un segundo estrés (altas temperaturas).

En la figura 13 se observa la comparación de medias para el tratamiento de 20 días que fue el que causó mayor severidad y reducción en el rendimiento. Por tanto, los genotipos que presentaron mayores rendimientos en este tratamiento serían buenas fuentes de resistencia para tolerancia a sequia. Los genotipos con mayor rendimiento fueron Bol 1335 y Bol 3522. Bol 1335 presentó una severidad moderada y Bol 3522 una severidad alta. Estos genotipos tampoco registraron disminuciones significativas con respecto a los rendimientos de sus testigos. Esto significa que estos genotipos son tolerantes a sequia. Por otra parte, los genotipos con menor severidad y por tanto, mayor resistencia (Bol 5052 y Bol 3206) obtuvieron los rendimientos más bajos. Sin embargo, no hubo reducción significativa con respecto a los rendimientos de los testigos ya que estos también

fueron bajos. Esto indica que estos genotipos son resistentes a sequia pero no tienen un buen potencial de rendimiento.

En el caso de los demás componentes de rendimiento como ser número y volumen de tubérculos. No hubieron diferencias significativas para los tratamientos de sequia. El número de tubérculos solamente mostró diferencias significativas para genotipo, lo cual significa que las diferencias en número de tubérculos están determinadas por el genotipo (Tabla 10).

También se pudo observar que las variables rendimiento, número de tubérculos y volumen de tubérculos estuvieron alta y positivamente correlacionadas entre sí tanto en el tratamiento de 10 días como en el de 20 días (Tablas 8 y 9). Lo que significa que a mayor número de tubérculos y volumen hubo mayor rendimiento. Esto significa que los genotipos Bol 1335 y Bol 3522 no solo obtuvieron mayor rendimiento en peso sino también mayor número y volumen de tubérculos. Por tanto, serían valiosas fuentes de resistencia para tolerancia a sequia.

Helada

El análisis de varianza para los componentes de rendimiento (Tabla 11) muestra que no hubo varianza bloque*corte ($\sigma^2_{blq*corte} = 0$), esto significa que no existió efecto de parcela principal para esta variable. Por otra parte, para las variables número de tubérculos y volumen si existió varianza bloque*corte ($\sigma^2_{blq*corte} = 0,016$ y $0,006$). Esto significa que existió efecto de parcela principal para corte y que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas fue el apropiado para controlar dicha variación.

Asimismo, se observa que existieron diferencias significativas entre los efectos de los tres diferentes cortes ($Pr < 0,01$). Al realizar las comparaciones entre medias para los tratamientos se observó que los tratamientos de corte de 50 y 100 % obtuvieron menor rendimiento que el testigo sin corte. Esto significaría que ambos niveles de corte causaron reducción significativa en el rendimiento en igual magnitud (Fig. 14).

No existió interacción corte*genotipo ($Pr < 0,218$), lo cual indica que las diferencias entre los rendimientos de los genotipos fueron las mismas en cada corte. En general, se observa que los rendimientos con el 50% de corte de follaje fueron inferiores al rendimiento del testigo y que los rendimientos con el 100% de corte de follaje fueron inferiores a los de los del corte del 50% (Fig. 15). Sin embargo, los únicos genotipos que mostraron reducciones significativas fueron Bol 1335 y Bol 3659 que redujeron sus rendimientos drásticamente con el corte de follaje del 100%. Por otra parte, el genotipo Bol 2184 experimento una reducción significativa en su rendimiento con los cortes de 50 y 100%. El genotipo 107 presento reducción significativa del rendimiento solo con el tratamiento del 50% de corte, los tratamientos 0 y 100% fueron estadísticamente iguales.

Para el tratamiento de 100% de corte de follaje, se observa que los genotipos que presentaron mayor rendimiento fueron Bol 1335 y Bol 1246 y aquellos que presentaron menores rendimientos fueron Bol 2184, Bol 3208, Bol 4825, Bol 3229 y Bol 3206 (Figura 16). Los genotipos Bol 1335 y Bol 1246 también obtuvieron los mayores rendimientos bajo sequia. Esto significa que ambos genotipos presentarían genes tanto para tolerancia a sequia como para tolerancia a pérdida de follaje y serían una buena fuente de resistencia para resistencia a sequia y pérdida de follaje como efecto de heladas.

En el caso de número de tubérculos, no hubo diferencias significativas para los niveles de corte. El número de tubérculos solamente mostró diferencias significativas para genotipo, lo cual significa que las diferencias en número de tubérculos están determinadas por el genotipo (Tabla 11).

La variable volumen de tubérculos si mostro diferencias significativas para nivel de corte ($Pr < 0,01$), siendo el nivel de corte del 100% de follaje el que registró menor volumen de tubérculos con respecto al testigo. Por otra parte, el nivel de corte del 50% no registró reducción en el volumen de tubérculos con respecto al testigo (Figura 17).

También se pudo observar que las variables rendimiento, número de tubérculos y volumen de tubérculos estuvieron alta y positivamente correlacionadas entre sí tanto en el tratamiento de 50% de corte como en el de 100% de corte. Lo que significa que a mayor número de tubérculos y volumen hubo mayor rendimiento (Tabla 12). En este sentido, los genotipos que registraron mayores rendimientos bajo ambos cortes de follaje también registraron mayor volumen de tubérculos.

Para determinar la posible asociación de la tolerancia a sequia y corte de follaje como efecto de helada se realizó un análisis de correlación entre el rendimiento bajo los tres diferentes niveles de corte de follaje (0, 50 y 100%) y las variables de severidad, contenido de clorofila (Variable altamente asociada con la resistencia a

sequia) y los componentes de rendimiento bajo los tres diferentes tratamientos de sequia (0, 10 y 20 días). Este análisis mostró que las variables número de tubérculos, volumen de tubérculos, rendimiento y severidad bajo sequia están débil y positivamente correlacionadas con el rendimiento bajo corte de follaje como simulación de helada (Tabla 13). Esto significa que a mayor tolerancia a corte de follaje como efecto de simulación de helada se obtuvieron mayor número, peso y volumen de tubérculos bajo sequia. Asimismo, la severidad estuvo baja y negativamente correlacionada con el rendimiento bajo corte de follaje como efecto de simulación de helada. Esto significa que a mayor rendimiento bajo corte de follaje hubo menor severidad o mayor resistencia a sequia. Los genes que determinan la tolerancia a corte de follaje (como simulación de efecto de helada) están de algún modo relacionados con aquellos que gobiernan la tolerancia y la resistencia a sequia.

Conclusiones

En la evaluación del primer año de 154 genotipos de papa para tolerancia a sequía en invernadero tres grupos de parámetros de evaluación fueron considerados, el primero la tolerancia al estrés hídrico en 4 semanas de sequía total, el segundo el uso del agua y el tercero la capacidad de recuperación después de un riego a la finalización de las 4 semanas de sequía. 12 genotipos se identificaron como los más tolerantes y 12 genotipos como los más susceptibles.

En el segundo año de evaluación, solo se consideraron 16 genotipos de la colección de papa que fueron sometidos a estrés hídrico por sequía y heladas.

De los tres niveles de sequia utilizados, el tratamiento de 20 días sin riego causó mayor severidad.

Al evaluar tres niveles de corte de follaje como simulación de efecto de helada en los 16 genotipos se observó que los niveles de corte de follaje del 50 y 100% causaron el mismo grado de reducción en rendimiento con respecto al testigo.

La accesión Bol 5052 fue la más resistente bajo ambos tratamientos de sequia.

Las accesiones Bol 1335 y 3522 obtuvieron mayores rendimientos bajo sequia.

Las accesiones Bol 1335 y 1246 obtuvieron mayores rendimientos bajo corte de follaje como efecto de simulación de helada.

Aparentemente existe una significativa aunque baja correlación entre los genes que gobiernan la resistencia a sequia y aquellos que gobiernan la tolerancia a pérdida de follaje.

Referencias

- Amat y León C. et al., 2008. *El Cambio Climático no tiene fronteras, impacto del cambio climático en la comunidad andina*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, 37p.
- Artunduaga, R. y Torrez, E. 1982. Principios básicos de la ocurrencia de las heladas y su control. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica. 33 p.
- Cadima X., Almanza J., García W., Terrazas F., González R. & Gandarillas A., 2003. Etnobotánica de tubérculos andinos en candelaria. In: GARCIA W & CADIMA X. (eds.), *Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia*. Cochabamba, Bolivia, 46-46.
- Ceccarelli, S. 1984. Plant responses to water stress. *Gen. Agr.* 38:43-74.
- Crespo Valdivia F. Et Bellot Kalteis S., 2004. *Servicios de Apoyo y Estructura, Estrategia y Rivalidad de las Empresas del Subsector de la Papa en Bolivia*. Bolivia: INNOVA
- Dominguez, A. 2010 XVI Simposium Internacional sobre el manzano y frutales de clima templado.
- Ekanayake, I.J. 1993. Estudios sobre el estrés hídrico por sequia y necesidades de riego de la papa. Lima Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 38 p.
- Estrada N (2000) La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martinez (Ed.) La Paz, Bolivia. 372 p.
- Gabriel, J. 2010. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. ISBN: 978-99954-743-2-4, Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- Gabriel, J. y Carrasco, E. 1998. Evaluación Preliminar de la Resistencia Durable al tizón *Phytophthora infestans* en Cultivos Nativos de Papa del Banco de Germoplasma Boliviano. En: Danial, D., Chicaiza, O. (eds.).

- Segundo Taller de PREDUZA en Resistencia Duradera en cultivos Altos en la Zona Andina. 22-24 Septiembre de 1.998. Cochabamba, Bolivia. p. 153-158.
- Hawkes J.G., 1990. *The potato. Evolution, biodiversity and genetic resources*. Londres: Belhaven Press, 259p.
- Hijmans R. J., 2003. The Effects of Climate Change on Global Potato Production. *American Journal of Potato Research.*, 80, 271-280.
- Hooker, W.J. 1982. Compendio de enfermedades de la papa. Trad. del Inglés por Teresa Ames de Icochea. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 165 pp.
- Ingavi, 2006. *Nuestros bioindicadores naturales. Conozcámoslos y aprendamos de ellos*. La Paz: Programa de Suka kollus PROSUKO et Fundación AGRECOL Andes.
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE). 2008. Bolivia: Eventos adversos de origen natural reportados, según tipo de evento, 2002–2008. <http://www.ine.gov.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC80601.HTM>. Consulta: Julio - 2011.
- Iriarte V., Condori B., Parapo D., Acuña D. 2009. *Catálogo Etnobotánico de Papas Nativas del Altiplano Norte de La Paz-Bolivia*. Cochabamba: Fundación PROINPA, RC et INIAF, 142p
- Le Tacon, Ph., J.J. Vacher, M.Eldin, E. Imaña. 1991. Los riesgos de helada en el altiplano Boliviano. En: Morales, D., J.a. Vacher. 1991. Actas VII Congreso Internacional sobre cultivos andinos. IBTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia.
- Mamani, P. 2000. Effet de la secheresse sur six variétés de pomme de terre dans les andes boliviennes. Tesis M.Sc., Université Catholique de Louvain, Faculte des Sciences Agronomiques, Belgique. 43 p.
- Ochoa C. M., 2001. *Las papas de Sudamerica* : Bolivia. 1ière éd. La Paz: Plural editores/CID, 535p.
- PROINPA. 1996. Selección y difusión de cultivares con tolerancia a factores abióticos. *En: Informe anual Compendio 1.994-1.995 IBTAPROINPA*, CIP. COTESU. Cochabamba-Bolivia. p. 29-33.
- Snyder, R. y Melo-Abreu J. P. de. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. FAO. Roma-Italia. 241 p.
- Terrazas F. & Valdivia G., 1999. Una experiencia metodológica en la identificación y caracterización de microcentros de biodiversidad en la región de Cochabamba, Bolivia. *In: Raices y Tuberculos Andinos. Avances de Investigación*. Lima: 1. Éd. Centro Internacional de la papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina (CONDESAN), 77-90.
- Terrazas F., Cadima X., Garcia R., Zeballos J. 2008. *Catálogo Etnobotánico de Papas Nativas, Tradición y cultura de los ayllus del Norte Potosí y Oruro*. Cochabamba: Fundación PROINPA, RC et CAD, 189p.
- Torrez, E. 1995. Agrometeorología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ed. Trillas México. 150 p.
- Vavilov N. I., 1960. *Estudio sobre el origen de las papas cultivadas*. Buenos Aires: Ediciones ACME Agency S. R. Ltda.
- Watson R., Zinyowera M., Moss R. & Dokken D., 1997. *The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability*. Summary for policymakers. Report of IPCC Working group II, 16p.
- Zimmerer K.S., 1991. The regional biogeography of native potato cultivars in highland Peru. *Journal of Biogeography*, 18, 165-178.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla1. Accesiones de papa evaluadas para tolerancia a sequía (2010-2011).

SPP	Nom de l'accession	Numéro d'identification de l'accession : BOL...	Numéro en serre				
ADG	GENDARME	63	1	ADG	POLONIA	1427	46
ADG	CHUCHI COLLU	1310	2	ADG	ALQA PALI	1643	47
ADG	CASA BLANCA	1559	3	ADG	ALQA PALI	260	48
ADG	SANI IMILLA	3071	4	ADG	MILAGRO	3216	49
ADG	WILA YAKU	1295	5	ADG	SULIMANA	3827	50
ADG	ALQA IMILLA	2690	6	ADG	AMAJANA	3208	51
ADG	PACENA	1130	7	ADG	SALAMANI	1068	52
ADG	QOYU QOYU	3144	8	ADG	WILA WAKA LAJRA	2137	53
ADG	WILA IMILLA	2973	9	ADG	SAQAMPAYA	1488	54
ADG	LARAM LUKI	3798	10	STN	Puca Qoyllu	2694	55
ADG	CHEJCHI PACENA	240	11	STN	AMAJAYA	2940	56
ADG	WAYCHA	2684	12	STN	ACHACANA	2788	57
ADG	WILA IMILLA	2380	13	STN	ABAJENA	1290	58
ADG	WILA IMILLA	3680	14	STN	SAQAMPAYA	2663	59
ADG	GENDARME	35	15	STN	SEFERINA	3189	60
ADG	GENDARME	2665	16	STN	SAQAMPAYA	2733	61
ADG	IMILLA NEGRA	11	17	STN	MALKACHO	2868	62
ADG	ICARI	1294	18	STN	WAYKU	2330	63
ADG	IMILLA BLANCA	1216	19	STN	CHITICO	2801	64
ADG	IMILLA BLANCA	2750	20	STN	PUKA CHUCHULI	29	65
ADG	SANI IMILLA	2681	21	STN	CANASTILLA	3766	66
ADG	TORALAPA	2616	22	STN	QOYLLU	2682	67
ADG	DURAZNILLO	2438	23	STN	CHOJLLU	3856	68
ADG	ALQA SANI	2612	24	ADG	CANASTILLA BLANCA	1143	69
ADG	PUKA NAWI	3771	25	STN	CANASTILLA	3676	70
ADG	CHIYAR ALQA IMILLA	248	26	STN	MACHO WANUCHI	3125	71
ADG	QOYU QOYU	2812	27	STN	NOJCHA	2670	72
ADG	WILA PALA	1437	28	STN	WILA CHOJLLU	3206	73
ADG	PALI	79	29	STN	YURAJ SULIMANA	3243	74
ADG	PUKA PALA	133	30	STN	KAMARA	3756	75
ADG	LAMBRA NEGRO	1472	31	STN	CHIYAR AJAHUIRI	1434	76
ADG	LLOKALLITO	2963	32	STN	PITU WAYAKA ROJA	3204	77
ADG	CHEJCHI PALA	1420	33	STN	MILAGRO	3256	78
ADG	MALKACHO	3209	34	ADG	PINU	2653	79
ADG	SAQAMPAYA	1082	35	juz	CHOJLLA LUKI	4708	80
ADG	JANQO PALA	125	36	STN	JANQO AJAHUIRI	3558	81
ADG	JANQO PALA	2648	37	STN	CHIYAR PITU		82
ADG	POLONIA	160	38	STN	WAYAKA	2731	82
ADG	PUKA NAWI	3072	39	STN	NEGRO PINU	3858	83
ADG	IMILLA MORADA	107	40	STN	KATARI PAPA	2728	84
ADG	CHEJCHI	1335	41	STN	CANDELERO	2620	85
ADG	WAYCHA	1040	42	GON	Chaska Zapallo	2791	86
ADG	JANQO PALA	2894	43	JUZ	QETU LUKI	4710	87
ADG	PALA	1187	44	PHU	SUKIMALLA	2889	88
ADG	PALAMA	254	45	AJH	AJAHUIRI MORADO	3427	89
				AJH	MILAGRO	1700	90
				AJH	LUNKU AJAHUIRI	3164	91
				AJH	AJAHUIRI	2730	92
				AJH	AJAHUIRI	3716	93
				JUZ	YARI LUKI	3397	94

JUZ	WILA PHINU	3797	95	AJH	LARAM AJAHUIRI	4957	144
JUZ	PARINA CAYO	3799	96	AJH	AJAHUIRI MORADO	3526	145
JUZ	LUKI MORADO	3549	97	CUR	LUKI TURURU	3410	146
JUZ	CHIYAR WAKA NUNU	2501	98	CUR	LUKI REDONDA	3005	147
JUZ	LUKI PIROSA	3193	99	CUR	JANQO CHOQE PITU	1158	148
JUZ	QAYSALLA	3395	100	CUR	JANQO CHOQE PITU	3731	149
JUZ	-----	3077	101	ADG	LARAM PALI	206	150
CUR	JANQO CHOKE PITU	3593	102	ADG	LARAM PALA	1382	151
CUR	JANQO CHOQEPITU	2273	103	ADG	LLOKALLITO	2622	152
CUR	JANQO CHOQE PITU	3604	104	STN	ALKAMARI	5207	153
CUR	LARAM LUKI	3418	105	PHU	PHUREJA DE SORATA		154
ADG	GENDARME	273	106				
AJH	JANQO AJAHUIRI	3199	107				
STN	PEPINO	3163	108				
ADG	ALQA IMILLA	3103	109				
ADG	IMILLA ROSADA	2937	110				
ADG	PACENA	2869	111				
ADG	LUNCU IMILLA	4850	112				
ADG	TORALAPA	3010	113				
ADG	ALQA PALI	1363	114				
ADG	IMILLA BLANCA	3659	115				
ADG	CHIYAR ALQA IMILLA	3644	116				
ADG	MAJARILLO	3210	117				
ADG	WILA WAKA LAJRA	3615	118				
ADG	-----	3682	119				
ADG	LARAM PALI	1315	120				
ADG	CONDOR IMILLA	2667	121				
ADG	GOYLLU TAKA	5168	122				
ADG	ICARI	3132	123				
ADG	IMILLA NEGRA	1056	124				
ADG	COLLAREJA LARGA	5191	125				
ADG	SANI IMILLA	1481	126				
ADG	LECHE PAPA	1336	127				
ADG	YANA RUNA	5033	128				
ADG	MONO MAQUI	3803	129				
STN	PITU WAYO	5011	130				
STN	SOLDADO	4859	131				
STN	CONDOR UMA	4858	132				
STN	CUCHI ACA	5200	133				
STN	CONDOR PAPA	5052	134				
--	YANA GOYLLU	4960	135				
STN	CONDOR PAPA	4913	136				
STN	PEPINO	4874	137				
STN	CANDELERO	5062	138				
STN	PINTA BOCA	4827	139				
STN	SAITO KULI	4971	140				
GON	CHURI ZAPALLO	5184	141				
AJH	JANQO AJAHUIRI	3737	142				
AJH	YARI BLANCO	3498	143				

Tabla2. Descripción de los valores utilizados en la escala 1 – 5 para la evaluación del estado de la planta y su follaje.

ESCALA	ESTADO DE LA PLANTA	FOTO
0	Planta igual al testigo	
1	Planta ligeramente marchita y/o de incipiente coloración amarilla y/o de hojas secas y/o necrosis de las puntas de las hojas y/o pérdida de folíolos.	
2	Marchitez en un 50% de la planta y/o color amarillento moderado y/o hojas secas y/o necrosis de las puntas de las hojas y/o pérdida de folíolos.	
3	Marchitez en un 75 % de la planta y/o color amarillento avanzado y/o hojas secas y/o necrosis de las puntas de las hojas y/o pérdida de folíolos.	
4	Marchitez en un 100% de la planta y/o color amarillento total (excepto los tallos) y/o desecación total (excepto los tallos) y/o necrosis total en las puntas de los hojas y/o pérdida total de folíolos	
5	Planta muerta	

Tabla3. Descripción de la escala A –D utilizada para evaluar el estado del tallo.

ESCALA	ESTADO DE LA PLANTA	FOTO
A	Tallo verde aun con hojas verdes	
B	Tallo verde y turgente pero con hojas marchitas	
C	Tallo ligeramente seco y amarillento.	
D	Tallo totalmente seco / muerto	

Tabla4. Análisis de varianza para la escala I.

Analysis of Variance for échelle 1, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
accession	153	516,762	511,612	3,344	9,83	0,000 (3)
Temps	10	7192,039	7104,344	710,434	2089,50	0,000 (2)
accession*Temps	1530	583,670	583,670	0,381	1,12	0,004 (1)
Error	3324	1130,167	1130,167	0,340		
Total	5017	9422,637				

S = 0,583097 R-Sq = 88,01% R-Sq(adj) = 81,90%

Tabla 5. Análisis de varianza factor peso

Analysis of Variance for poids, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
acession	153	68004102	68141688	445371	6,90	0,000 (3)
temps	6	208981622	206285390	34380898	532,84	0,000 (2)
acession*temps	918	47181595	47181595	51396	0,80	2,000 (1)
Error	2120	136789912	136789912	64524		
Total	3197	460957231				

S = 254,015 R-Sq = 70,32% R-Sq(adj) = 55,25%

Tabla 6. Código, nombre comercial, especie y procedencia de 16 cultivares evaluados por su reacción al estrés hídrico por sequia y al corte de follaje como simulación de efecto de helada por sequia. Año 2012.

Cultivar	Nombre	Especie	Procedencia
BOL 1643	Alqa Pali	adg	La Paz
BOL 4825	Sicha Imilla	adg	La Paz
BOL 107	Imilla Morada	adg	La Paz
BOL 1246		stn	
BOL 2184	Azul Luki	juz	
BOL 3199	Janqo Ajahuiri	ajh	Cochabamba
BOL 3208	Amajana	adg	Potosi
BOL 1335	Chejchi	adg	Oruro
BOL 2730	Ajahuiri	ajh	Cochabamba
BOL 5052	Condor Papa	stn	Potosi
BOL 3848	Isla	adg	Cochabamba
BOL 3610		ajh	La Paz
BOL 3448	Ajahuiri	ajh	La Paz
BOL 3522	Ajahuiri	ajh	La Paz
BOL 3206	Wila Chojllu	stn	Potosi
BOL 3659	Imilla Blanca	adg	La Paz

Tabla 7. Componentes de varianza de severidad para 16 genotipos nativos de papa sometidos a tres niveles de sequia bajo invernadero.

F.V.	gl	C.M. GM	σ^2
Bloque	2	0,004	<0,001
Sequia	2	30,83**	
Genotipo	15	0,052**	
Bloque*Sequia	4	0,003	<0,001
Sequia*Genotipo	30	0,017**	
Residual	90	0,002	0,002
C.V.		3,22	

*= Significativo (Pr<0.05), **=Altamente significativo (Pr<0.01).

Tabla 8. Coeficientes de correlación de Pearson para 16 genotipos nativos de papa sometidos a 10 días de sequia.

	GM	AP	NH	NR	CC	NT	Y	VT
GM	1	-0,391	-0,637	-0,476	0,515	0,065	0,07	0,042
		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,53	0,496	0,691
Y	0,241	0,249	-0,167	0,406	0,175	0,588	1	0,604
	0,099	0,087	0,257	0,004	0,233	<0,01	0	<0,01

GM= Severidad, NH=Numero de hojas, NR=Numero de ramas, CC= Contenido de clorofila, NT=Número de tubérculos, Y=Rendimiento (Kg/maceta), VT=Volumen de tubérculos.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson para 16 genotipos nativos de papa sometidos a 20 días de sequía.

	GM	AP	NH	NR	CC	NT	Y	VT
GM	1	-0,456	-0,815	-0,55	0,505	-0,035	-0,377	-0,286
		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,740	<0,01	0,01
Y	0,123	-0,233	-0,200	0,179	0,046	0,745	1	0,768
	0,416	0,118	0,182	0,232	0,759	<0,01	0	<0,01

GM= Severidad, NH=Numero de hojas, NR=Numero de ramas, CC= Contenido de clorofila, NT=Número de tubérculos, Y=Rendimiento (Kg/maceta), VT=Volumen de tubérculos.

Tabla 10. Componentes de varianza de componentes de rendimiento para 16 genotipos nativos de papa sometidos a tres niveles de sequia bajo invernadero.

F.V.	gl	C.M. Y	σ^2	C.M. NT	σ^2	C.M. VT	σ^2
Bloque	2	0,014	<0,001	164,265	2,923	6,979	0
Sequia	2	0,054*		10,531		31,741	
Genotipo	15	0,403**		648,467**		25,538	
Bloque*Sequia	4	0,017	<0,001	24,703	0,198	8,024	0,371
Sequia*Genotipo	30	0,082		22,301		2,16	
Residual	90	0,002	0,002	21,491	21,491	2,179	2,179
C.V.		18,483		25,375		19,278	
R ²		0,758		0,852		0,75	

*= Significativo (Pr<0.05), **=Altamente significativo (Pr<0.01).

Tabla 11. Componentes de varianza de componentes de rendimiento para 16 genotipos nativos de papa sometidos a tres niveles de corte de follaje como efecto de simulación de helada bajo invernadero.

F.V.	gl	C.M. Rendimiento	σ^2	C.M. Nº Tubérculos	σ^2	C.M. Volumen	σ^2
Bloque	3	0,002	<0,001	0,249	0	4,209	0,062
Corte	2	0,022**		0,919		20,254**	
Genotipo	15	0,03**		5,749**		31,698**	
Bloque*Corte	6	0,001	0	0,868	0,016	1,392	0,006
Corte*Genotipo	30	0,001		0,374		1,507	
Residual	119	0,002	0,002	0,44	0,44	1,359	1,359
C.V.		21,276		18,594		21,024	
R ²		0,761		0,665		0,781	

*= Significativo (Pr<0.05), **=Altamente significativo (Pr<0.01).

Tabla 12. Coeficientes de correlación de Pearson para 16 genotipos nativos de papa sometidos a dos diferentes niveles de corte de follaje (50 y 100% de corte).

	NT	VT
Y	0.604	0.983
50 % de corte	<0.01	<0.01
Y	0.655	0.986
100 % de corte	<0.01	<0.01

Y= Rendimiento bajo corte de follaje como simulación de efecto de helada, NT=Número de tubérculos y VT=Volumen de tubérculos.

Tabla 13. Coeficientes de correlación de Pearson para 16 genotipos nativos de papa sometidos a tres diferentes tratamientos de sequia (0, 10 y 20 días de sequia) y tres niveles de corte de follaje (0, 50 y 100% de corte).

	NTS	VTS	YS	GM	CC
YH	0.317	0.382	0.366	-0.246	-0.022
	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.798

YH= Rendimiento bajo corte de follaje como simulación de efecto de helada, NTS=Número de tubérculos (Sequia), VTS=Volumen de tubérculos (Sequia), YS=Rendimiento (Sequia), GM= Severidad de daño por sequia, CC= Contenido de clorofila.

Figura 1. Medias de las 154 accesiones evaluadas para la Escala I. Obsérvese que las accesiones 100 y 139 tienen los valores de media más altos.

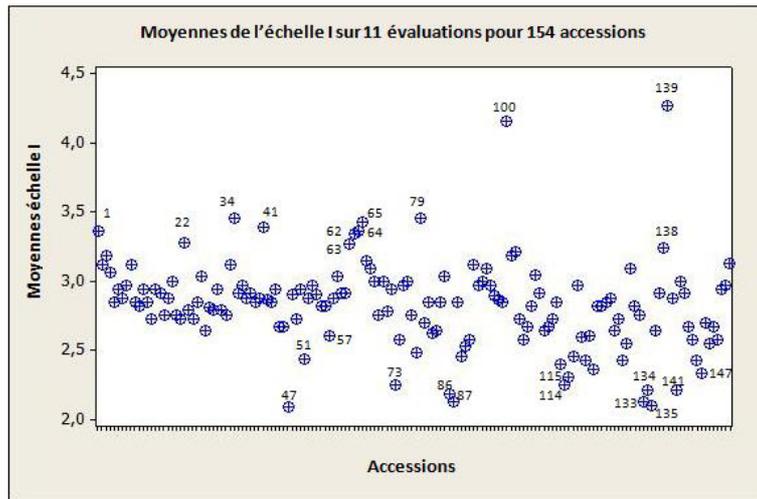


Figura 2. Evolución de las medias durante las 11 evaluaciones realizadas a las accesiones 139 y 165.

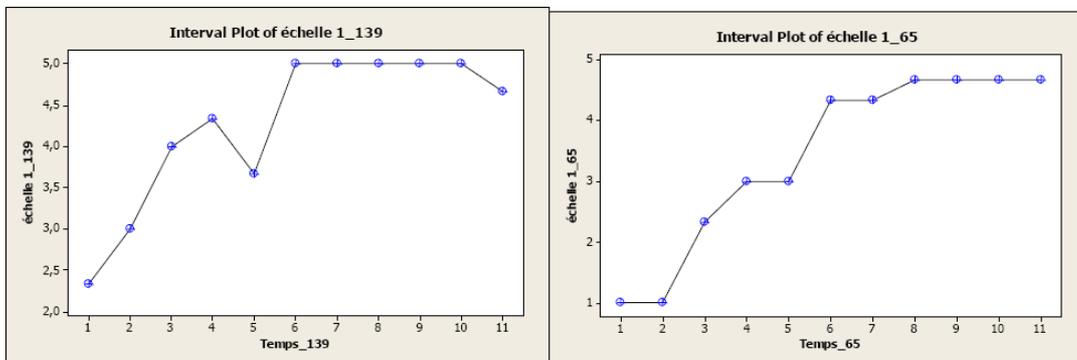


Figura 3. Evolución de las medias durante las 11 evaluaciones realizadas a las accesiones 25 y 60.

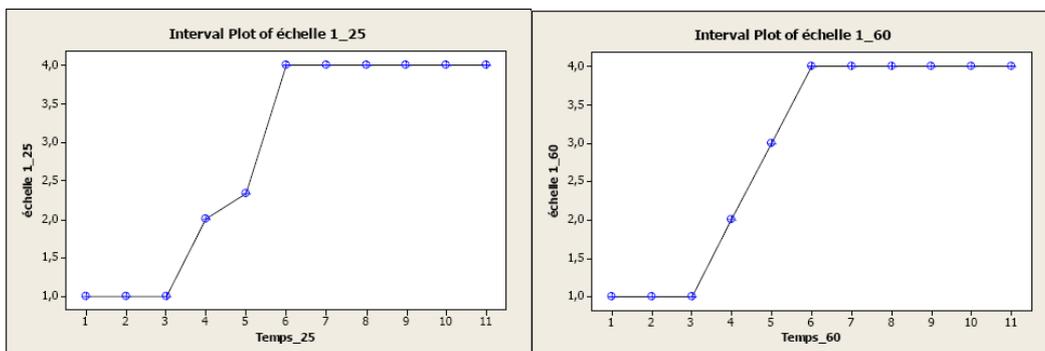


Figura 4. Evolución de las medias durante las 11 evaluaciones realizadas a las accesiones 134 y 47.

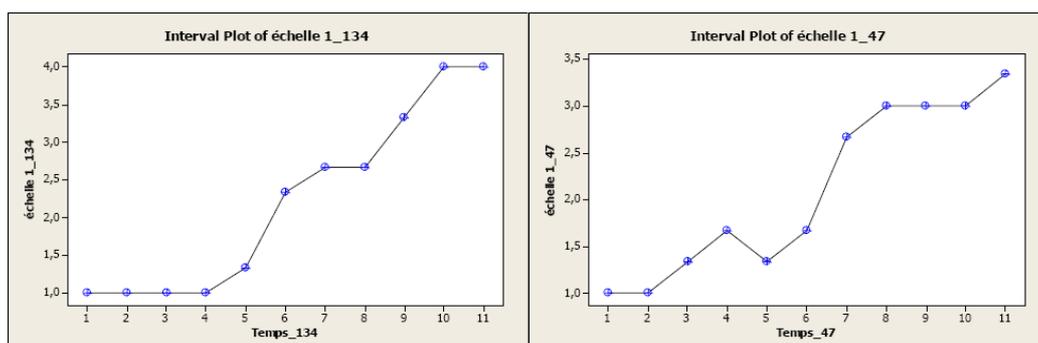


Figura 5. Evolución de las medias para la escala II. Tres evaluaciones.

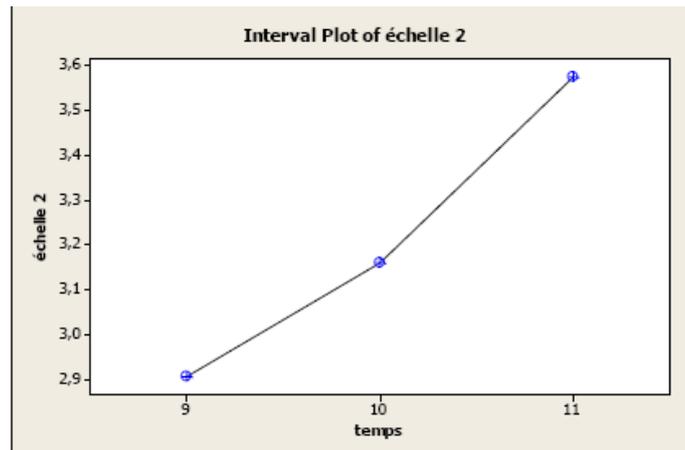


Figura 6. Evolución de las medias para la Escala II. Las accesiones que presentaron promedios más bajos se encuentran en círculo.

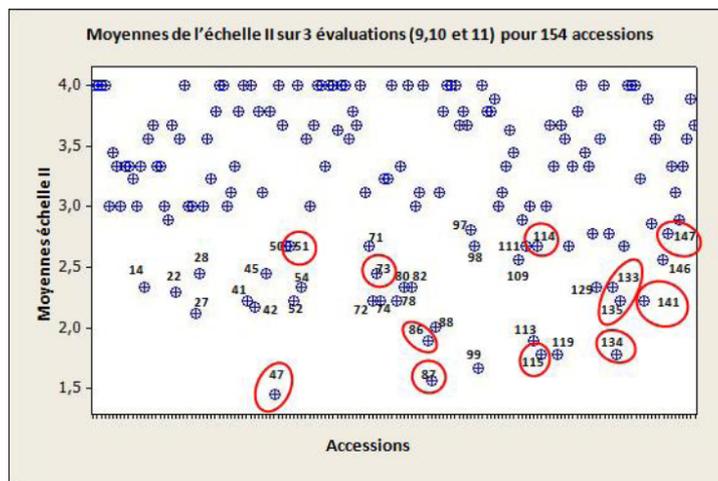


Figura 7. Evolución del peso a lo largo de las siete evaluaciones realizadas

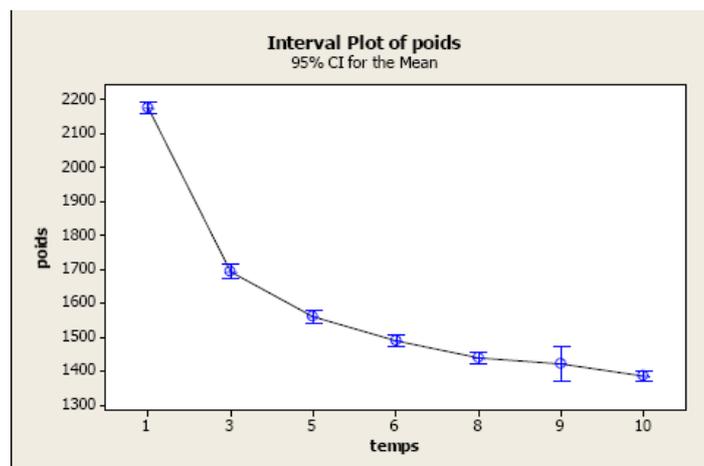


Figura 8. Medias de los pesos para las siete evaluaciones y las 154 accesiones

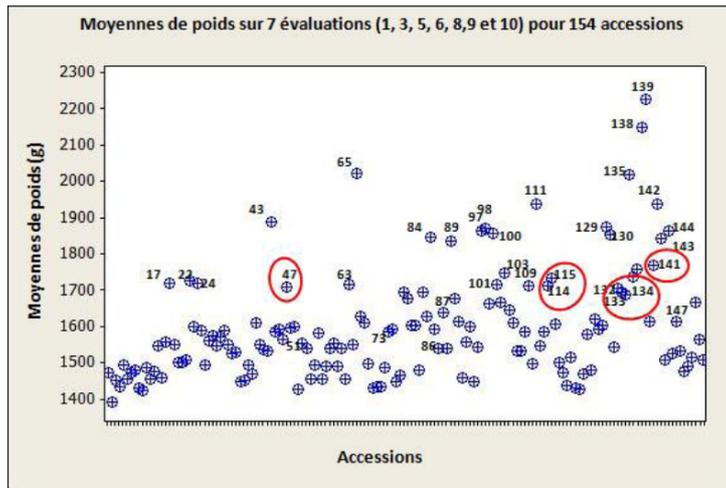


Figura 9. Severidad para tres diferentes niveles de sequía aplicados bajo invernadero en 16 genotipos nativos de papa.

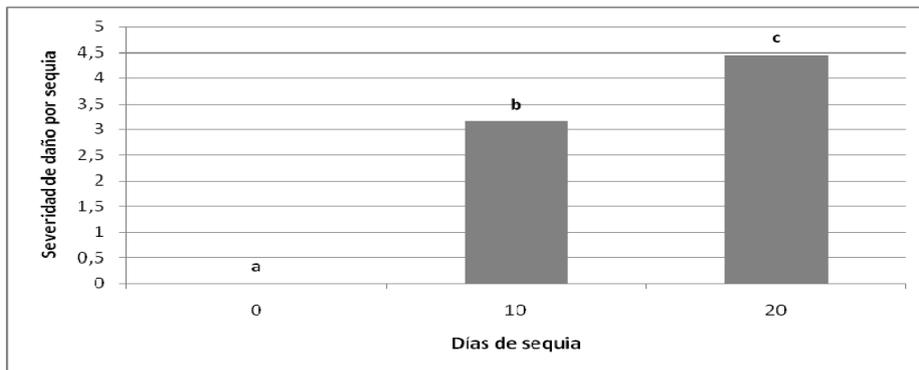


Figura 10. Severidad para 16 genotipos nativos sometidos a 10 y 20 días de sequía bajo invernadero.

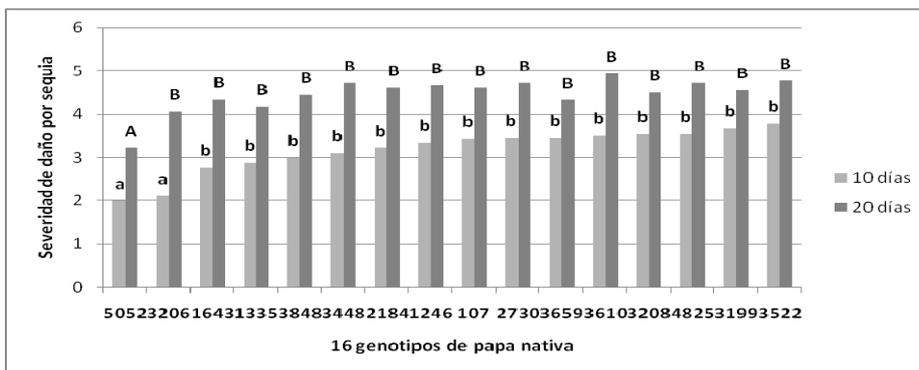


Figura 11. Rendimiento (Kg/maceta) para tres tratamientos de sequía (0, 10 y 20 días de sequía) aplicados en 16 genotipos de papa nativa bajo invernadero.

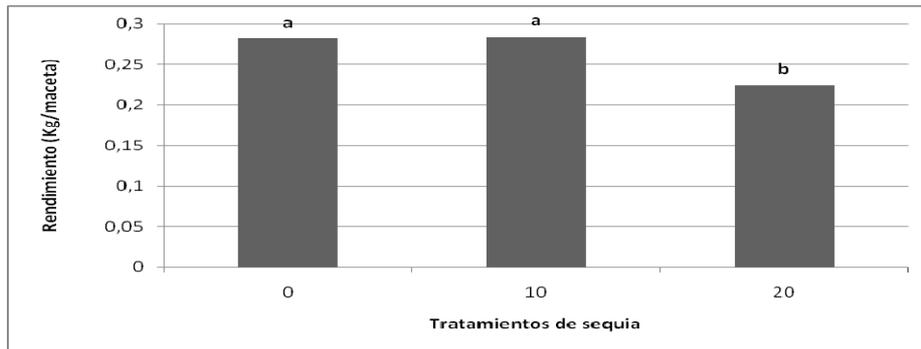


Figura 12. Rendimiento (Kg/maceta) para 16 genotipos nativos sometidos a 0, 10 y 20 días de sequía bajo invernadero.

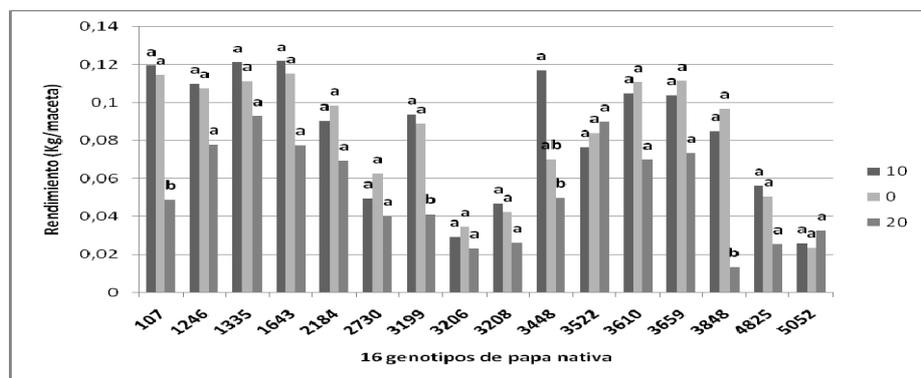


Figura 13. Comparación de medias de rendimiento (Kg/maceta) para 16 genotipos nativos sometidos a 20 días de sequía bajo invernadero

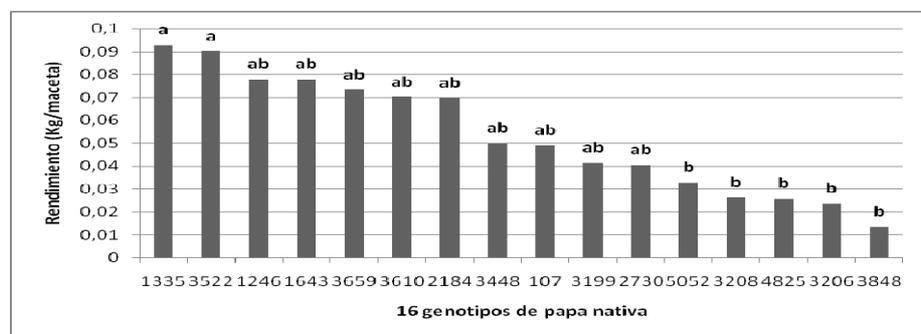


Figura 14. Rendimiento (Kg/maceta) para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) aplicados en 16 genotipos de papa nativa bajo invernadero.

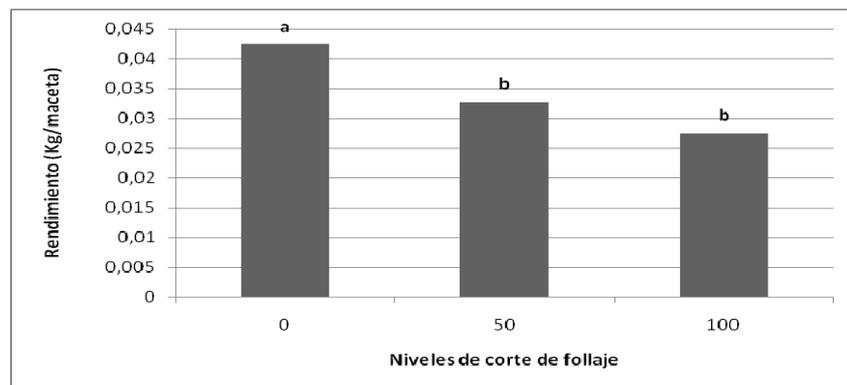


Figura 15. Rendimiento (Kg/maceta) para 16 genotipos nativos sometidos tres cortes de follaje como simulación de efecto de helada bajo invernadero.

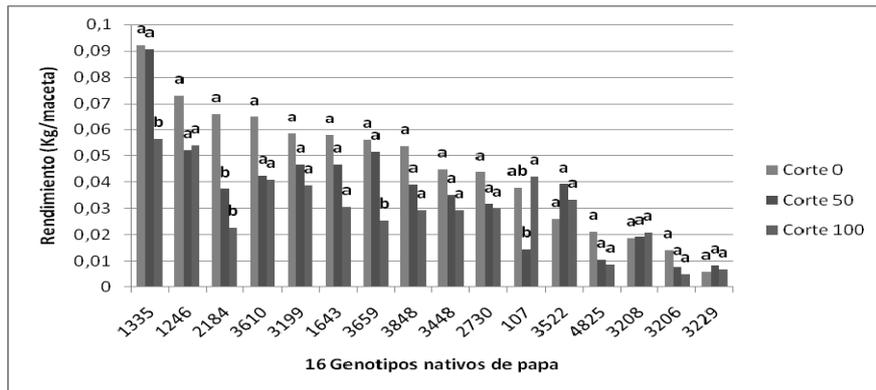


Figura 16. Rendimiento (Kg/maceta) para 100% de corte de follaje como efecto de simulación de helada aplicado en 16 genotipos de papa nativa bajo invernadero.

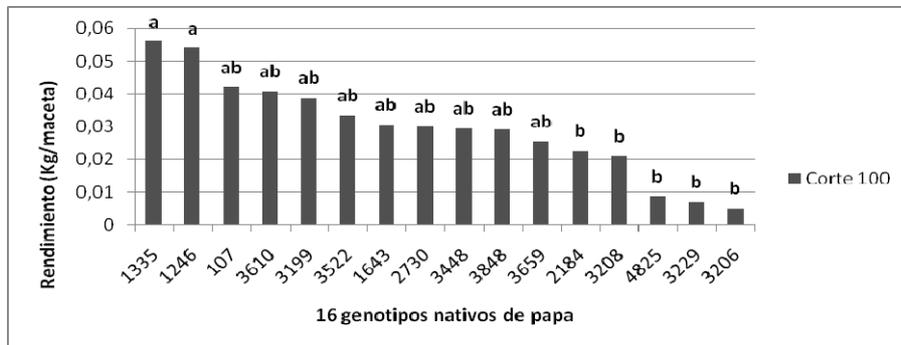
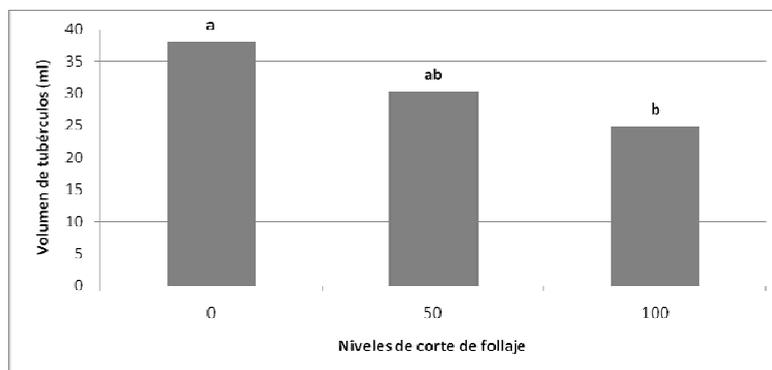


Figura 17. Volumen de tubérculos (ml/maceta) para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) aplicados en 16 genotipos de papa nativa bajo invernadero.



Investigación de la plasticidad fenotípica de la papa bajo condiciones controladas (*ex situ*) en el INIA-Perú

Noemí Zuñiga¹²

Compendio

La ejecución del Proyecto ha permitido la identificación de variedades nativas con tolerancia/resistencia a heladas y sequía. Se han identificado variedades con alta capacidad de producción frente al estrés hídrico, fenómeno que también ha permitido identificar variedades con potencial de responder en forma precoz a la formación y llenado de tubérculos con menor tiempo desde la siembra a la formación de estolones y consecuentemente el llenado de los tubérculos con mayor eficiencia en la translocación de fotosintatos de la masa foliar formada en condiciones óptimas. Lo cual se observa en el comportamiento de las variedades Cceccorani, Muru Vacapa Ccallun, Pajaritica que sometidos a estrés total, obtuvieron valores mayores que en estrés parcial y sin estrés, en el caso de la variedad Pajaritica no difieren ampliamente de los pesos obtenidos con estrés parcial y/o sin estrés. Tenemos también a la variedad Huayo Rojo cuyo rendimiento fue ascendente desde el tratamiento sin estrés (2.9), estrés parcial (11.8) a estrés total (38.6), valor que obtuvo con un número reducido de tubérculos pero de buen tamaño. De manera similar se observa en el comportamiento de la variedad Muru Canteña y Yuracc Piña.

Introducción

La diversidad de papas nativas es conservada en forma dinámica en las comunidades altoandinas, en nichos agroecológicos con alto riesgo de la presencia de fenómenos climáticos extremos acentuado ahora por el cambio climático. La tecnología ancestral de conservación que es la siembra en mezcla ha permitido la mantención de las variedades con y sin resistencia por la protección cruzada ejercida en esta forma de siembra. Los programas de mejoramiento no han utilizado esta diversidad en forma adecuada para la obtención a gran escala de familias que combinen estas resistencias. Se propone un protocolo de evaluación para resistencia a sequía en condiciones *ex situ* y la evaluación para tolerancia a heladas bajo condiciones simuladas.

Materiales y Métodos

1. Resistencia al estrés hídrico en 39 variedades nativas de papa bajo condiciones controladas

El trabajo se condujo en el invernadero de la Estación Experimental Agraria Santa Ana, cuya ubicación es la siguiente:

Anexo	:	Saños Grande
Distrito	:	El Tambo
Provincia	:	Huancayo
Departamento	:	Junín
Altitud	:	3 200 m.
Longitud	:	75° 13' 202''
Latitud	:	12° 00' 803''

La evaluación se realizó durante dos campañas: 2010 – 2011, 2011 - 2012.

Los tratamientos fueron:

Factor I: Material genético, 39 variedades nativas del banco de Germoplasma del Programa Nacional de Investigación en Papa de la Estación Experimental Santa Ana

Factor II: Riego:

Tratamiento 1: Sin estrés (riego continuo)

Tratamiento 2: Estrés parcial (suspensión de riego al concluir la floración, por un período de 15 días)

Tratamiento 3: Estrés total (suspensión de riego al concluir la floración hasta el cumplimiento del período vegetativo).

Las evaluaciones realizadas fueron:

Características morfológicas: Altura de planta, vigor, días a floración, senescencia, longitud de raíz,

¹²Investigadora del INIA-Perú

Características agronómicas. Número de tubérculos por planta por categoría, peso de tubérculos por planta por categoría,

Transpiración, temperatura de hoja, CO₂ interior, CO₂ exterior, fluorescencia, consumo de agua, eficiencia del uso de agua.

2. Identificación de variedades nativas de papa con resistencia a heladas a través de metodologías de simulación

Se utilizó la metodología de simulación para evaluar la respuesta fisiológica y agronómica de las variedades como un efecto al daño fisiológico por las bajas temperaturas.

La evaluación se realizó en 49 variedades nativas, se instaló el experimento en los terrenos de la Estación Experimental Santa Ana ubicado en el distrito de El Tambo a una altitud de 3200 metros de altitud.

La simulación del estrés fue a través del corte de follaje que se realizó a los 89 días de la siembra, cuando las plantas se encontraban en pleno desarrollo vegetativo, a inicio de floración. En este caso se cortó el follaje, bajo los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1: 0% (sin corte de follaje - control)

Tratamiento 2: 25% de corte de follaje

Tratamiento 3: 50 % de corte de follaje

Tratamiento 4: 75 % de corte de follaje

Tratamiento 5: 100 % de corte de follaje

VARIABLES EVALUADAS:

- Emergencia a los 25 días de siembra

- Altura de planta Inicial: evaluada a todos los tratamientos al inicio de floración, antes de efectuar el corte del follaje

- Sobrevivencia después del corte del follaje

- Altura de planta a la floración después del corte del follaje

- Rendimiento por planta. Número y peso de tubérculos por categoría.

- Materia seca por tratamiento en comparación con un control en condiciones normales del cultivo de variedades nativas (zona altoandina)

Resultados y Discusión

1. Resistencia al estrés hídrico en 39 variedades nativas de papa bajo condiciones controladas

Se presenta el rendimiento de las variedades nativas después de haber sido sometidas a estrés hídrico, se realizó otra segunda campaña de este ensayo para confirmar el comportamiento de las variedades. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Durante la campaña agrícola 2011 – 2012, se observó que las variedades de mejor comportamiento en la campaña anterior también confirmaron su comportamiento en esa campaña. Los mejores rendimientos fueron reportados por las variedades Cceccorani, MuruVacapaCcallun, Pajaritica cuando fueron sometidos a estrés total, los valores obtenidos en los dos primeros casos son mayores que en estrés parcial y sin estrés, en el caso de la variedad Pajaritica no difieren ampliamente de los pesos obtenidos con estrés parcial y/o sin estrés.

2. Identificación de variedades nativas con resistencia a heladas a través de metodologías de simulación

Se presentan los resultados obtenidos del ensayo de simulación de heladas a través del corte de follaje, como una práctica de muerte foliar por el efecto de la congelación del agua celular por el descenso de la temperatura a niveles que causan daño.

En Tabla 2, se presenta el rendimiento para cada tratamiento frente al testigo (0%) que no fue cortado el follaje. Se observa que hay variedades que reducen su rendimiento en forma correlacionada con el porcentaje de daño, así como otras variedades responden de manera diferente, como si la capacidad de rendimiento fuera estimulada por el daño foliar.

Se observa que las variedades SumaccSoncco (12.45 a 3.13), Huayta Chuco (11.63 a 2.50), Muru Huayro (9.88 a 3.35), Matucana (9.55 a 3.5), obtuvieron rendimientos que descendieron de acuerdo al porcentaje de corte de follaje, también se observa variedades que tuvieron respuestas contrarias como Añaspahuarian cuyo

rendimiento a 100% de corte fue mucho mayor que a 25% de corte de follaje, también Yuracman Rojo es otra variedad que a 25% de corte de follaje el rendimiento fue el doble (22.38) que a 0% de corte de follaje (9.53).

Otras características observadas en este estudio fueron que los tubérculos de las variedades nativas tuvieron muchos cambios de forma, tamaño, aspecto así como de la calidad culinaria, efectos que a futuro podrían presentarse por el calentamiento global, cambio en las propiedades físicas y bioquímicas de los suelos.

Conclusiones

Las evaluaciones realizadas para identificar en el germoplasma institucional, variedades nativas que tengan resistencia a heladas y sequía ha permitido el conocimiento real de la diversidad genética existente en el mismo para el uso facilitado de estos materiales en la generación futura de nuevas progenies saltando las barreras genéticas, morfológicas, bioquímicas de las especies silvestres, cuyo uso demanda equipos adecuados, infraestructura de laboratorios y tiempo.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Comportamiento agronómico de variedades nativas de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones controladas en la Estación Experimental Agraria Santa Ana – INIA, Perú. 2011 – 2012.

Variedades Nativas	Sin estrés			Estrés Parcial			Estrés Total		
	H	Nº	Peso	H	Nº	Peso	H	Nº	Peso
Cceccorani	55	5	48,5	75	5	40,8	82	4	75,9
MururVacapaCcallum	105	5	43,5	115	3	33,8	82	1	60,7
Pajaritica	50	8	66,8	86	14	52,4	82	4	56,4
Lila Suyto	71	6	40,6	75	9	50,3	81	6	53,9
Cuchipa Chupan	95	6	26,3	65	5	34,6	62	3	52,0
Yana Huancuy	85	4	25,6	80	12	40,4	63	3	50,3
MuruVacapaCcallun	50	6	81	52	4	26,7	98	8	49,8
Huamanpa Human	75	7	48,1	57	5	23,3	64	4	48,8
Yuracman	85	6	100	101	5	66,5	78	7	46,8
SumaccSoncco	102	2	11,3	72	30	24,3	84	1	45,9
SoccoHuaccoto	62	13	63,7	90	10	49,4	101	8	44,7
Amarilla del Centro	80	7	31,9	105	5	10,3	69	2	40,7
Yana Toro	65	3	25,8	58	3	31,1	55	12	40,6
Huayro Rojo	101	2	2,9	105	3	11,8	102	3	38,6
Cuchipalshmaynin	54	6	36,3	60	2	11,7	49	8	26,2
Poccyá	75	8	26,8	80	6	16,6	67	39	25,0
MuruCanteña	112	5	14,6	57	4	16,8	67	6	24,5
Ambar	60	13	75,5	52	6	36,3	56	5	24,5
CcalaHuecco	79	5	47,7	78	4	12,6	75	9	19,7
Yana Piña	73	6	17,7	62	1	13,3	64	6	18,8
Allcca palta	65	7	22,1	87	4	34,1	64	5	17,2
Ilunchuipa Mundana	35	4	24,9	71	3	13,1	64	3	16,8
Cacho de Toro	63	5	15,3	80	6	44,0	80	3	16,0
Yuracc Piña	85	1	6,83	97	8	59,6	64	7	15,4
Huayro Macho	60	0	0	80	4	4,7	69	2	13,6
Pucatarma	115	17	56,3	44	7	31,3	68	1	13,0
Amarilla del Centro	25	1	12,2	64	2	17,6	64	4	12,4
Caramelo	35	3	23,3	77	1	16,3	66	1	9,5
Murush Palta	60	8	36,3	78	9	46,2	78	6	7,6
Amarilla PucaÑahui	75	3	4,27	71	4	11,1	87	3	4,7
MuruAulli	94	2	11,1	78	1	12,3	65	1	3,3
Huayta Vaso	65	8	38,3	94	7	7,8	52	1	0,7
Yana Murunqui	72	2	17,1	93	2	4,2	78	1	0,7
Pumapa Maqui Negro	75	8	40,1	59	1	13,9	94	0	0,0
CceccoraniSuyto	80	2	10,4	60	1	3,2	65	0	0,0

H= Altura de Planta; N^o= Número de tubérculos por planta; y peso de tubérculos por planta

Tabla 2. Rendimiento en t/ha, de las variedades nativas sometidas a corte de follaje en la Estación Experimental Agraria Santa Ana – Huancayo, INIA-Perú. 2011 – 2012.

Variedades Nativas	Tratamiento: Corte de Follaje (%)				
	0%	25%	50%	75%	100%
SumaccSoncco	12,45	10,38	8,38	2,63	3,13
AñaspaHuarian	12,25	2,03	6,13	3,38	9,50
Huayta Chuco	11,63	18,25	12,88	6,00	2,50
Yana Palta	10,88	7,25	4,63	3,63	3,00
Yana Huancuy	10,25	3,38	4,13	2,08	3,38
Muru Huayro	9,88	6,63	9,73	4,75	3,35
Leona	9,83	3,38	13,13	7,38	3,63
Viuda	9,75	8,13	9,88	5,13	3,95
Matucana	9,55	7,25	8,50	4,63	3,25
Yuracman Rojo	9,53	22,38	10,38	5,75	3,88
Mauna	8,65	5,88	5,55	5,78	2,70
Asno Zapato	8,45	8,38	4,50	4,00	3,28
YuraccÑahui	8,40	13,13	3,63	4,28	2,23
Talmish	8,10	4,63	2,53	4,75	3,13
Peruanita	8,00	1,88	7,88	1,50	2,33
Yana Canteña	7,78	11,38	4,25	10,88	4,63
SoccoHuaccoto	7,68	3,38	5,50	2,50	1,95
Duraznillo	7,38	7,50	3,75	7,20	3,88
Caramelo	7,18	7,25	1,88	4,13	0,83
Huayta Vaso	7,15	8,38	5,38	4,63	1,83
Yana Murunqui	7,05	3,25	2,85	3,00	1,18
Tumbay O.R.	6,68	4,25	4,50	4,00	1,88
Pumapa M.R.	6,53	4,25	5,38	2,00	2,13
Yana tarma	6,53	6,38	3,25	4,63	4,50
MuruVacapa	6,25	6,38	2,90	7,13	3,50
Larga Negra	5,93	12,53	5,88	5,38	5,60
Capquiash	5,75	5,00	3,88	3,13	2,88
Yuracc Caramelo	5,63	6,88	3,63	3,50	3,13
Huayro Rojo	5,38	6,85	7,00	3,13	3,55
Yana Huayro	5,38	6,75	2,75	4,25	3,43
Camotillo Rojo	5,30	3,80	2,75	3,25	6,35
YulaShucre	5,20	6,75	9,73	7,38	5,85
Huayro Macho	5,18	10,45	5,00	5,38	3,50
Chaulina	5,18	4,25	4,28	3,83	4,25
TucupaÑahuin	5,15	9,03	3,13	5,35	1,28
Papa negra	4,90	11,75	2,55	3,70	2,25
Yuracc Pepino	4,75	4,73	14,98	3,23	3,23
Acero Suyto	4,68	2,88	3,35	4,25	2,20
Sto Domingo	4,58	2,53	5,38	4,75	3,63
Yana Shiri	4,54	6,50	3,75	3,75	8,38
Sheyla	4,50	7,25	3,35	3,25	3,52
Amarilla del C.	4,48	1,88	3,50	2,40	2,63
Pumapa M.N.	4,15	5,13	1,98	3,58	1,70
Ichipra Rojo	4,03	6,13	9,50	2,25	0,88
Camotillo	3,70	2,73	3,50	2,03	2,63
Cceccorani	3,66	6,13	4,00	2,50	2,75
Yana Piña	3,18	6,88	3,75	2,95	3,35
Duraznillo Blanco	2,90	3,08	2,48	2,60	2,00
Lila Suyto	2,55	4,65	3,88	2,10	2,25

Componente 2.

Investigación de la plasticidad fenotípica de la papa bajo condiciones de agricultores (*in situ*)

Identificación y evaluación participativa, para tolerancia a sequía y heladas, de cultivares nativos y especies silvestres de papa conservados en el banco de germoplasma del CIP y comunidades locales del Perú

Rene Gómez¹, Alberto Salas⁵, Ana Panta⁵, Oswaldo Chavez⁵, Rolando Cabello², Milton Gamarra³, Leonor Mejía⁴
Lorenzo Huaman⁸, Carlos Hidalgo⁸, David Tay⁵, David Ellis⁵

Compendio

Se identificaron 57 cultivares del Banco de Germoplasma del CIP con características de reacción a estrés hídrico. Cuarenta de estos cultivares fueron elegidos por que previamente mostraron tolerancia a sequía en ensayos realizados con otros grupos de trabajo en CIP. Otros cultivares fueron incluidos como controles tolerantes y susceptibles. Nueve cultivares locales provistos por la comunidad de Taucca en Chinchero-Cusco, con tolerancia a heladas fueron identificados participativamente. Adicionalmente, genotipos de especies silvestres de papa (*Solanum acaule*, *S. bukasovii*, *S. tarapatatum*, *S. lignicaule*, *S. raphanifolium*, y *S. gracilifrons*) identificados con tolerancias a heladas las dos primeras y a sequía las cuatro restantes, también fueron estudiados. Las cuatro comunidades recibieron al inicio de cada campaña, la semilla de los 57 cultivares identificados. Se validaron y seleccionaron estadística y participativamente los mejores cultivares para cada zona.

Durante la primera campaña mediante selección participativa con agricultores de las comunidades de Ccollanas y Taucca en el Cusco, San José de Aymara y Santa Rosa-Colcabamba en Huancavelica, se validaron las características de tolerancia a sequía y heladas y la adaptación a esos lugares de los 57 cultivares de papa y los nueve cultivares locales provistos por la comunidad de Taucca. Los genotipos de especies silvestres fueron comprobados para su tolerancia a heladas y sequía; sin embargo por su condición silvestre su respuesta a prácticas de cultivo fue pobre. La comunidad de Ccollanas, localizada en área seca (con precipitaciones menores a 500 mm) con vegetación xerofítica, por primera vez ensayó sembrío de papa nativa compartiendo espacio con maíz blanco⁶ del valle de Urubamba, lo cual constituye un beneficio socio-económico para la comunidad.

En la segunda campaña, 20 cvs validados para tolerancia a sequía y adaptación en Ccollanas-Cusco fueron utilizados en el experimento donde se aplicó sequía terminal a partir del inicio de la tuberización. Dos tratamientos de sequía se utilizaron, con y sin techo de plástico. Las parcelas con plástico se consideraron como tratamiento de extrema sequía. Para la tolerancia a heladas también se evaluaron 20 cvs validados en Taucca-Cusco y en San José de Aymara-Huancavelica. La multiplicación de las papas ensayadas continuó en San José de Aymara para su uso como tubérculos-semilla de los experimentos de la siguiente campaña.

En la tercera campaña se evaluaron 19 cvs en el experimento para tolerancia a estrés hídrico en Ccollanas-Maras-Cusco, para confirmar las respuestas de la segunda campaña, también bajo condiciones de extrema sequía y el control afectado por la sequía local. Estos 19 cvs también fueron sometidos a como parte de un ensayo para heladas en San José de Aymara, para correlacionar la tolerancia a sequía y a su vez a heladas; adicionalmente, cultivares seleccionados bajo condiciones controladas (in vitro e invernadero) fueron probados para tolerancia a heladas junto con los otros cvs. Catorce cultivares nativos de papa fueron seleccionados como tolerantes a extrema sequía de manera participativa con agricultores de la comunidad de Ccollanas-Cusco. Diecisiete cvs nativos fueron seleccionados como tolerantes a heladas en San José de Aymara-Huancavelica.

Introducción

Para plasmar los objetivos del proyecto dentro del contexto de utilización de la diversidad genética de la papa para afrontar la adaptación al cambio climático, se estudió materiales procedentes del Banco de Germoplasma del CIP (*ex-situ*), cultivares nativos valorados y propuestos por la comunidad de Taucca-Cusco (*in-situ*), y

¹ Banco de Germoplasma – CIP

² Unidad de Producción de Semilla-CIP

³ Consultor CIP-FONTAGRO

⁴ Técnicos locales CIP-FONTAGRO

⁵ Actualmente Ex-CIP, en cuya Jefatura del Banco de Germoplasma y representación se inició este Proyecto

⁶ Hasta hace más de 12 años atrás, en el ámbito donde se ha experimentado la papa para sequía en la ladera de Tarapata y Hawaqqollay, solamente se producía maíz Amarillo que requiere menos calor comparado con el maíz blanco que producía únicamente en la parte inferior, actualmente esta área está ocupada por maíz blanco desplazando al maíz Amarillo a mayor altitud, pero el déficit de agua en la zona no permite su mayor expansión, este cambio territorial en la producción de los maíces es notoriamente consecuencia del cambio climático (fuente: propietarios de los terrenos de Hawaqqollay dedicados a esos cultivos)

genotipos de especies silvestres (*ex-situ e in-situ*) de conocida respuesta a estrés por sequía o heladas en las cuatro comunidades involucradas (condiciones notorias de Cambio Climático en los Andes). Las comunidades participantes fueron elegidas por la presencia de marcadas condiciones de sequía o afección por heladas (ahora más intensas y de ocurrencias ya no predecibles), adicionalmente la elección estuvo condicionada porque los agricultores de las comunidades se dedican⁷ al cultivo de papa nativa y finalmente, también tengan presencia de especies silvestres con características de tolerancia a esos estreses; las comunidades elegidas fueron: (i) Ccollanas en Maras-Cusco, para ensayos de sequía, (ii) Tauca en Chinchero-Cusco, para ensayos de heladas, (iii) San José de Aymara en Pazos-Huancavelica, para ensayos de heladas y producción de tubérculos-semilla; (iv) Santa Rosa en Colcabamba-Huancavelica para sequía. Para los ensayos, las comunidades de Ccollanas y San José de Aymara participaron durante las tres campañas; la comunidad de Tauca participo en las 2 primeras campañas; la comunidad de Santa Rosa participó solamente la primera campaña porque en área seca y debido a lluvias esporádicas pero intensas se presentó infección por *Phytophthora infestans* (rancha, seca seca) lo cual afectó este ensayo. Las especies silvestres estudiadas fueron elegidas en función de sus conocidas tolerancias y su presencia en las comunidades donde se realizaron los ensayos.

El principal objetivo de las actividades fue proporcionar cultivares nativos promisorios a las comunidades y los agricultores que trabajan por encima de 2500 msnm (sequía), y por encima de 3500 msnm (heladas), contribuyendo a la adaptación de los sistemas de producción de papa a los principales efectos del cambio climático, utilizando la diversidad genética mantenida *ex situ e in situ*.

Materiales y métodos

Se identificaron 57 cultivares del Banco de Germoplasma del CIP con características promisorias a estrés hídrico. Cuarenta de estos cultivares fueron elegidos por que previamente mostraron tolerancia a sequía en ensayos realizados con otros grupos de trabajo en CIP. Otros cultivares fueron incluidos como controles tolerantes y susceptibles (Tabla 1). Nueve cultivares locales provistos por la comunidad de Tauca en Chinchero-Cusco, con tolerancia a heladas fueron identificados participativamente (Tabla 2). Adicionalmente, genotipos de especies silvestres de papa (*Solanum acaule*, *S. bukasovii*, *S. tarapatatum*, *S. lignicaule*, *S. raphanifolium*, y *S. gracilifrons*) identificados con tolerancias a heladas y sequía, también fueron estudiados (Tabla 3). Las localidades donde se realizaron los estudios fueron: a) Tauca en Chinchero-Cusco; b) Ccollanas en Maras-Cusco; c) San José de Aymara en Pazos-Huancavelica, y d) Santa Rosa en Colcabamba-Huancavelica. El paisaje alrededor de la comunidad de Ccollanas, y el lugar de experimentación ubicado a 3204 msnm (13°19'15.60"S 72°07'18.02"W), presenta características xerofíticas, indicando la sequedad del medio (escasa precipitación pluvial – menos de 500 mm y baja humedad relativa). La comunidad de San José de Aymara se encuentra en la región alto andina; la experimentación se realizó a 3914 msnm (12°14'29.94"S 75°03'07.66"W), donde se presentan heladas (-3.5 a -10°C), principalmente en las depresiones de la subcuenca donde se depositan los aires fríos nocturnos y destrozan las células de los vegetales de esos sitios por formación de hielo y luego del evento tomando la apariencia de quemado. La zona de Santa Rosa-Colcabamba donde su mayor territorio se caracteriza por sus suelos secos y encontrarse en una ladera con exposición hacia al Este con mayor solarización, la experimentación se realizó a 2672 msnm (12°21'56.43"S y 74°39'59.83"W). La zona de Tauca-Chinchero se encuentra en un ámbito alto andino frío y los experimentos se realizaron en su territorio alto ubicado a 4225 msnm (13°24'10.99"S y 71°58'51.88"W).

Se obtuvo tubérculo-semilla (150 unidades) para cada uno de los 57 cvs, los cuales se utilizaron en los ensayos realizados en las cuatro comunidades y en la multiplicación de semilla que se llevó a cabo solo en la comunidad de San José de Aymara-Huancavelica. La comunidad de Tauca proveyó 10 tubérculos-semilla por cada uno de los nueve cultivares locales señalados como los más tolerantes a las heladas en dicha comunidad. Las cuatro comunidades recibieron al inicio de cada campaña, la semilla de los 57 cultivares identificados en el Banco de Germoplasma del CIP. La siembra se ejecutó a mediados de diciembre, a fin de que las plantas sean afectadas por heladas, que ocurren a partir de abril, durante el periodo de llenado de los tubérculos. La cosecha, en el caso de sequía, se efectuó a la senescencia de los controles, o después de la reacción del punto de marchitez permanente para extrema sequía; para heladas, a la muerte del follaje después de los eventos de heladas. Las principales variables (Tabla 4) en estudio fueron definidas en acuerdo con los colaboradores del Proyecto (Reunión FONTAGRO, Agosto del 2010, en CIP-Lima). Los procedimientos aplicados (Tabla 5), los equipos y los suministros utilizados (Tabla 6), se indican líneas abajo. El programa estadístico utilizado fue "R".

⁷ con excepción del sector de Hawaqollay de la comunidad de Ccollanas donde más se dedican a maíz y la papa cultivan otros agricultores en la parte alta de la comunidad, por encima de 3400 msnm

En la primera campaña (2010-2011) se validaron y seleccionaron estadística y participativamente los mejores cultivares para cada zona. Aunque el número de cultivares fue alto se utilizó el DBCR con tres repeticiones en cada localidad. Para el análisis de las respuestas de los cultivares se utilizó ANVA previa verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos. Se seleccionaron los genotipos de mayor rendimiento a pesar del estrés de sequía y heladas. De ellos se utilizó 20 cvs para los estudios de sequía, y 20 cvs para heladas, en la siguiente campaña. Para reducir el número de variables en los ensayos siguientes, se hizo el análisis de componentes principales para identificar las variables más informativas y determinantes que contribuyeron significativamente al estudio (Tabla 7), (Figura 1).

Durante las campañas 2011-2012 y 2012-2013 se realizaron los experimentos de sequía y heladas, en Ccollanas-Maras, Cusco y San José de Aymara-Pazos, Huancavelica, respectivamente. La siembra se realizó a mediados de Diciembre 2012, de tal manera que la fase de llenado de tubérculos sea afectada por las primeras heladas de fin de campaña.

Para sequia se utilizó DBCR con 4 repeticiones, evaluándose 20 y 19 cultivares, respectivamente. A los 72-74 días después de la siembra, cuando se alcanzó el 50% de floración y a la vez se iniciaba la tuberización para la mayoría de los cultivares, se instaló un techo de plástico transparente sobre 2 bloques vecinos (la mitad del campo experimental, (Figura 2), a 2.2 m en la parte central y a 1.60m de altura a los dos costados, es decir, se instaló un techo transparente de caída de dos aguas que cubrió dos bloques. A fin de evitar el ingreso de agua a los otros 2 bloques (control), la precipitación desviada por el techo de plástico fue conducida por canales laterales preparados para ese propósito; de esta manera, se evitó el ingreso de más precipitaciones a los bloques control. Los bloques con techo se consideraron como ambiente de “Extrema sequía” mientras que los bloques control se desarrollaron en condiciones de “Sequía local”.

Para heladas, en la campaña 2011-2012 se utilizó 20 cultivares bajo DBCR con 3 repeticiones. En la campaña 2012-2013 se estudió 30 cvs bajo DBCR aumentado, incluyendo 12 cultivares en una repetición como aumentado. Las evaluaciones de la respuesta a heladas se realizaron después de 3 días de la ocurrencia de las heladas. Se registró porcentaje de daño foliar.

En ambos casos, bajo esas condiciones de estrés hídrico y a heladas, las principales variables respuesta fueron medidas por rendimiento y peso promedio de tubérculos y sus respectivas reacciones a dichos estreses, mientras que las demás respuestas a las otras variables se presentaran en las publicaciones en revistas.

Resultados y Discusión

Durante la primera campaña mediante selección participativa con agricultores de las cuatro comunidades participantes en el estudio, se validó las reacciones conocidas frente a los estreses locales y también la adaptación productiva a los mismos medios locales; las características de tolerancia a sequía y heladas de los 57 cultivares de papa, aunque la selección en la Molina-CIP básicamente fue hecha por sus reacciones a estrés hídrico terminal, es decir con y sin riego en la fase terminal o llenado de los tubérculos, y en el caso de Taucca los nueve cultivares locales validados para su tolerancia a heladas fueron provistos por la misma comunidad, seleccionados sobre la base de las experiencias ancestrales y/o acumuladas y ahora fijadas como parte del conocimiento local. Las respuestas demuestran que no siempre coinciden las reacciones obtenidas en diferentes ambientes y esa fue la principal razón de la validación, además de la adaptación, en el sentido que por más tolerante sea el cv si no produce bien no es bueno para la seguridad alimentaria. Entonces la búsqueda va por tolerancia y productividad juntas. Se considero tolerante a sequia cuando no se encontró diferencia significativa entre las producciones de tubérculos en ambas condiciones de sequia.

Lo genotipos de especies silvestres fueron comprobados para su tolerancia a heladas y sequía según correspondan a cada comunidad; habiendo respondido y confirmado sus tolerancias conocidas, un poco mejor que las papas cultivadas, donde destacan *S. lignicaule* para sequía y *S. acaule* para heladas, sin embargo por su condición silvestre su respuesta a prácticas de cultivo fue pobre (Tabla 8).

Heladas:

La respuesta a heladas de los 57 cultivares evaluados en las localidades de Taucca (Tabla 9) y San José de Aymara (Tabla 10) demuestran que cultivares con tolerancia a sequia también responden por su tolerancia a heladas, probablemente consecuencia de la selección natural, porque por experiencia sabemos que en los Andes, después de un periodo de sequía ocurren las heladas⁸, y los cultivares que toleran producirán

⁸ Una explicación corta y simplificada de la dualidad entre sequia seguida de heladas es la siguiente: En los Andes altos, cuanto más prolongada y fuerte sea la sequía, habra más calor y menos Humedad Relativa (HR), entonces el aire es más seco, si hay más calor por

alimentos. Las variables que principalmente se utilizaron para la validación de la respuesta fueron: porcentaje de daño después de la helada, rendimiento por planta, y peso promedio de tubérculo, además de otras muchas más o menos informativas. Sin embargo, las variables que resultaron menos informativas fueron: (Tabla 11), estas variables no se deben considerar en próximos estudios, porque no contribuyen significativamente. (ver variables significativas en Tabla 7)

La respuesta a heladas, campanas 2011-2012 no ha tenido mucho éxito debido a la presencia de heladas menores, tanto en Tauccha como en San Jose de Aymara, aunque en este último fue un poco más fuerte el daño, pero no lo suficiente para garantizar buenos resultados. Sin embargo, en la campaña 2012-2013 en función de las variables más informativas se muestra en la Tabla 12. En San Jose de Aymara-Pazos, Huancavelica, 30 cvs (19 provenientes de Experimento de Sequia y 11 cvs provenientes del tamizado en invernadero para sequia también fueron dañados fuertemente por la extrema helada del 20 de Abril 2013, ocurrida a los 128 días desde la siembra, en plena etapa de llenado de tubérculos; las variables Rendimiento (Rend) (Figura 2a) y Peso promedio de tubérculos (PromTubers) son utilizadas para el Análisis estadístico, se han comprobado los supuestos estadísticos y fue necesario una transformación de datos usando la raíz cuadrada, se realizó el Análisis de Varianza (Tabla 12^a), el CV de este análisis dio 12.85.

A un nivel de significación de 5 %, tenemos $p\text{-value} < \alpha = 0;05$, por lo tanto se concluye que existe diferencia estadística altamente significativa entre los rendimientos de tubérculos de los cultivares de papa sometidos a heladas y cuyas plantas fueron dañadas por la extrema helada del 20 de Abril 2013, ocurrida a los 128 días desde la siembra, en plena etapa de llenado de tubérculos.

Las comparaciones múltiples de los rendimientos transformados por raíz cuadrada de los cultivares en condiciones de heladas arroja los grupos de la Tabla 13. A continuación se presentan los 17 cvs seleccionados como buenos por su tolerancia a heladas y por su productividad en esas condiciones: 705445, 707129, 705454, 706172, 703912, 703365, 702870, 703457, 702543, 703415, 706882, 703825, 704161, 702282, 704417, 702650 y 706727, control 700921. Son más o menos parecidos los resultados utilizando la variable Peso Promedio de Tuberculos, también transformados por raíz cuadrada, básicamente cambian de orden debido al peso promedio o tamaño de los tuberculos, sin embargo se reducen a 12 cvs nativos cuando seleccionamos exigiendo que superen al control Q'ompis (700921).

Adicionalmente, entre los cultivares aumentados, se encontró materiales potencialmente tolerantes (Tabla 14). Otros 11 del mismo grupo de cvs provenientes de pruebas en invernadero para su tolerancia a sequia (componente 1.1), pero con pocos tubérculos semilla, y 1 cv local (Nina Mancha) se incluyeron en el diseño como aumentados; para su análisis se usó el CME del DBCR. El único que tiene potencialidad es el cultivar local Nina Mancha.

Sequía:

La respuesta a sequía de los 57 cultivares evaluados en las localidades de Santa Rosa no fue efectiva para sequia, salvo para resistencia a *Phytophthora infestans* (rancho, seca seca), lo cual afectó este ensayo. La validación de los mismos 57 cvs en Ccollanas permitió generar una lista de 20 cvs (17 cvs por selección estadística y 3 cvs por selección participativa). Las variables que principalmente se utilizaron para la validación de la respuesta fueron: rendimiento por planta, y peso promedio de tubérculo (Tabla 15).

La respuesta a sequía, durante las campañas 2011-2012 y 2012-2013 fueron parecidas, el último ensayo fue planteado para comprobación usando 19 cvs, las respuestas están en función de las variables seleccionadas previamente, las reacciones se muestra en la Tabla 16, los resultados permitieron diferenciar los siguientes grupos de materiales: 2 cvs altamente tolerantes, 3 cvs tolerantes, 9 cvs moderadamente tolerantes, y 5 cvs susceptibles (Tabla 17).

Sobre las respuestas en los experimentos para sequia en Ccollanas, especialmente en los dos bloques bajo extrema sequia (CT), observamos que algunos cultivares mostraron marchitez foliar a los 6 días de instalado el techo, otros cultivares empezaron también con otro tipo de reacciones al estrés hídrico. En contraste, a los 39

radiación solar al fondo de las cuencas o sub-cuencas (en el periodo de sequía no hay nubes o son muy pocas y ralas), entonces el aire seco por pérdida de densidad o ganancia de mayor volumen o expansión por más calor de la mañana y medio día (mayor entropía), asciende y a más calor mayor ascenso, alcanzando capas atmosféricas más gélidas al final de la troposfera (aprox -50 °C) y manteniéndose gélida en la estratosfera, hasta por debajo de la capa de ozono (40 a 45 km snm), es decir, apenas 6 km más arriba de donde se cultivan las papas nativas el aire es gelido, y por lo tanto el descenso del aire después de las 4 pm y la noche debido a pérdida del volumen o contracción por frío o ganancia de densidad paralelamente arrastra temperaturas gélidas, y en los lugares donde se depositen estas masas de aire frío provocarán congelamiento o fuertes heladas.

días todas las plantas de los cvs ensayados tenían por lo menos 10% de marchitez foliar y varios ya habían alcanzado la muerte;

La marchitez foliar fue diurna particularmente en las horas del mediodía (11:40 hasta 14:40), donde la temperatura alcanzo como extremo entre 29 y 33 °C, al mismo tiempo la humedad relativa (HR) decreció a niveles de sequedad también como valores extremos entre 24 a 27 % de HR, y su recuperación fue nocturna, en la medida que disminuyo el contenido de humedad del suelo desde la superficie hasta donde alcanzaron las raíces, y en cuanto transcurrieron los días (Figura 3) y (Figura 4), cada vez fue mayor la marchitez diurna hasta llegar al momento de la marchitez irreversible, es decir, hasta el punto de marchitez permanente (PMP) o muerte de las plantas (en este estado las raíces ya no pueden tomar humedad del suelo), punto en el que se paraliza la producción y llenado de los tubérculos, empezando estas a suberizar la piel, evitando la pérdida de humedad acumulada (dejaron de ser “pelonas”) (Figura 5).

A continuación discernimos otras reacciones, unos cvs mostraron mayor proliferación de raíces como reacción para capturar humedad y sobrevivir, otros reaccionaron secando rápidamente la parte aérea y muriendo tempranamente, y si no produjeron tubérculos se consideraron susceptibles, al contrario, secando la parte aérea llenaron rápidamente los tubérculos, ello significa que se aceleró la descarga de los contenidos de reserva de la parte aérea hacia los tubérculos u órganos de reserva, como el caso del cv 703912 (code 20) que alcanzo el 10% de marchitez foliar a los 10 días y a los 30 días alcanzo la marchitez irreversible o PMP, muriendo a los 33 días, pero, este cv fue uno de los mas productivos ocupando el tercer lugar entre los 14 seleccionados (Tabla 19) y tuvo preferencia por parte de los agricultores (selección participativa).

Igualmente, es posible que un cv en condición de extrema sequia acelere la producción de tubérculos de tal manera que produzca mucho mas que el respectivo control, este es el caso del cv 704606 (code 36) que produjo 35% mas en condición de extrema sequia que el control en condición de sequia local (Figura 6), (Figura 7) y (Figura 8).

Después, otros cvs son tolerantes al no mostrar diferencia significativa en la producción de tubérculos entre las dos condiciones (ST y CT), aunque no se monitorearon el cierre de estomas para disminuir la transpiración, la mayor producción de prolina como reacción al fuerte estrés o como indicador del efecto del estrés, la mayor presencia de clorofila a y b para correlacionarlos con la fotosíntesis, la producción de fotosintatos y la producción de tubérculos, sin embargo, se presume una regulación osmótica para preservar el agua dentro de las células y/o un eficiente uso del agua que tendría un carácter genético, también que habría una regulación de la apertura de los estomas para regular la transpiración, que aportan en la tolerancia a la sequia.

Seguidamente, unos pocos cvs reaccionaron profundizando algunas de sus raíces en la búsqueda de humedad, ejemplo el cv 703905 (code 19), a los 48 días tenía profundizado entre 7 a 8 raíces por planta hasta 51 cm y en ese momento el suelo apenas contenía cada 10 cm de profundidad 4.8%, 5.6%, 7.5%, 7.6% y 13.7% de humedad respectivamente, bajo esas circunstancias la planta se mantenía marchita pero viva, adicionalmente, este mismo cv no se marchitó foliarmente hasta antes de los 33 días, además a los 60 días tuvo 90% de marchitez aun reversible, sin llegar a la muerte, esta es una reacción extrema profundizando sus raíces buscando humedad, pero lamentablemente su producción de tubérculos fue la mas baja del experimento, resumiendo, para el agricultor no le es útil en el plazo inmediato, sin embargo para cruzamiento genético con otro cv altamente productivo y que sus segregantes combinasen estas dos características sería importante, finalmente, no tiene futuro inmediato, pero si un gran futuro en el mejoramiento genético de la papa en la búsqueda de tolerancia a sequia.

Por otra parte, los otros dos bloques (ST) fueron controles del experimento, sin embargo estuvieron sometidos a “sequia local”, es decir, al estrés hídrico habitual de la zona de trabajo, donde normalmente hay escasa precipitación en el ámbito de Ccollanas (menos de 500 mm, las papas nativas en condición seco (sin riego) requieren por encima de 700 mm de precipitación en el periodo de crecimiento y producción de las plantas de papa).

Los bloques bajo techo o extrema sequia adelantaron la marchitez foliar al menos entre 5 a 8 días respecto de los cultivares homologos de los bloques control sequia local.

Los resultados (Tabla 16) de la condición de sequia local en Ccollanas que fueron Control del experimento, son importantes porque a ocurrido en un paisaje con características xerofíticas, indicando la sequedad del medio (escasa precipitación pluvial – menos de 500 mm y baja humedad relativa); este territorio es

predominantemente kárstico⁹; esto se demuestra porque a poca distancia del límite de esta comunidad y al norte del área experimental se presenta una salinera grande (Salinera de Maras en actual producción de cloruro de sodio para consumo humano), por otra parte, al otro extremo de este mismo paisaje, en la jurisdicción de Maras, se ubican varias dolinas¹⁰ y uvalas que han dado origen a las andenerías Inca, de forma circular de Moray (terrazas construidas en el periodo de los Incas aprovechando estas depresiones naturales de estos ambientes calcáreos). Paralelamente, los cultivares ensayados en este mismo ambiente y a los cuales se les impuso un techo transparente para evitar el ingreso de las pocas precipitaciones durante el periodo de llenados de tuberculos hasta la muerte de estas plantas ocurrida posterior al punto de marchitez permanente, al cual se le ha denominado extrema sequia, merece mayor importancia; por esta razón estos 14 cultivares son el mayor logro de este proyecto. Ahora son parte del stock genético para sequia del Banco de Germoplasma de papa del CIP, con la finalidad de mayores investigaciones y próximas distribuciones para mitigar efectos de cambio climático.

Conclusiones y Recomendaciones

- 14 variedades de papas nativas fueron seleccionadas, a partir de materiales tolerantes a sequías, participativamente con agricultores de la comunidad de Ccollanas, localizada en área seca de Maras en Cusco. Se recomienda su inclusión en los Stock genéticos del banco de germoplasma de Papa del CIP, para su distribución a otras comunidades con similares problemas.
- Las comunidades de (1) San José de Aymara en Huancavelica, (2) Ccollanas en Maras-Cusco, y (3) Tauca en Chinchero-Cusco, han sido beneficiadas con la provisión de semilla de cultivares tolerantes a sequía y promisoriamente también a heladas. Así mismo, el proyecto ha permitido proporcionar a las comunidades herramientas para afrontar los riesgos del cambio climático; a la fecha cuentan con estaciones meteorológicas y mapas referenciales para afrontar el efecto del cambio climático y contribuir a la seguridad alimentaria. Se recomienda hacer el seguimiento necesario después de algunos años.
- Se han fortalecido vínculos colaborativos con las comunidades claves en el cultivo de papas nativas y definido estrategias iniciales para mitigar el efecto del cambio climático aprovechando la diversidad nativa y contribuyendo a la conservación in situ de recursos genéticos ancestrales. Actividades participativas que permitan mantener el vínculo con las comunidades y contribuyan a que se apliquen las estrategias propuestas son necesarias y aumentaran el impacto del proyecto.

Referencias

- Almekinders, C.J.M., et al 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica* 78:207-216.
- Bonierbale, M., W. Amoros, J. Espinoza, E. Mihovilovich, W. Roca y R. Gómez. 2004, Recursos Genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. Suplemento Revista Latinoamericana de la Papa
- Bowen, W.T. 2003. Water productivity and potato cultivation. p. 229-238. In J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden (eds.) *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. CABI Publishing, Wallingford.
- Bray, E., J. Bailey-Serres and E. Weretilnyk. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan, B.B., W. Gruissem and R.L. Jones (eds.). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Am. Soc. Plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA. Pp. 1367.
- Brown, C., L. Rodriguez, R. Wrolstad and J. Pavsek. 1998. Breeding behaviour of red-pigmented tuber flesh in tetraploid potato. *American Journal of Potato Research* 75(6): 272.
- Brush, S. B. 1995. In situ conservation of landraces in centers of crop diversity. *Crop Science* 35:346-354.
- Christie, P., M. Alfenito and V. Walbot. 1994. Impact of low temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: Enhancement of transcript abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedlings. *Planta* 194: 541-549.

⁹ El adjetivo kárstico proviene de Carso/karst, región ítaloeslovena de mesetas calcáreas de una configuración característica. El concepto de karst fue introducido en 1893 por el geógrafo serbio, especializado en **geomorfología**, Jovan Cvijić en su libro *Das Karstphänomen*. El relieve de estas zonas está condicionado principalmente por la disolución de las rocas calcáreas; a esto se llama «karstificación». Las reacciones químicas responsables de la disolución de los carbonatos son las siguientes: (i) Disolución del dióxido de carbono: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ (ii) Disociación acuosa del ácido carbónico: $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^-$ (iii) Ataque ácido de carbonatos ("calcáreos"): $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ (iv) Ecuación de balance: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$

¹⁰ Dolinas o torcas son grandes depresiones en la superficie del suelo karstico, formadas en lugares con estancamiento de agua o corre por intersticios subterráneos. Generalmente tienen formas cónicas invertidas y al unirse con otras forman las uvalas.

- Chujoy E., Cabello R. 2010. Phenotyping potato germplasm for drought tolerance. CIP Lima (Peru): 85 p. Working paper.
- CIP (International Potato Center). 2010. Genetic Resources databases, search for drought and frost tolerance (15_10_2010). Intranet: <http://sol/appdb/research/Div2GRCC/SEARCH/Modqry.asp>
- Dodds, K. S. 1962. Classification of cultivated potatoes. In. The potato and its wild relatives: Section Tuberarium of the Genus *Solanum*. Pp. 517-539. Correll, D. S. Texas Research Foundation. Renner, Texas, USA. 606 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2013. Statistical databases, www.fao.org, as of 10.08.2010.
- FAO/CIP. 1995. Potatoes in the 1990s: Situation and prospects of the world potato economy. CIP/ FAO. Rome.
- Fred T. Davies, Jr., Constantino M. Calderón, Zosimo Huaman and Rene Gómez. 2005. Influence of a flavonoid (formononetin) on mycorrhizal activity and potato crop productivity in the highlands of Peru. *Scientia Horticulturae*, Volume 106, Issue 3, 3 October 2005, Pages 318-329
- Gomez, Rene. 2000. Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas. Banco de Germoplasma de Papa, Depto. de Mejoramiento y Recursos Genéticos – Centro Internacional de la Papa (CIP). Disponible online: <http://www.neiker.net/neiker/papasalud/Materials/INIAP%20Caracterizacion%20Morfologica%20PapasOK.pdf>
- Gómez, René, William Roca, Miguel Ordinola, Kurt Manrique, Pamela Julca, Mario Tapia (2008) Papas Nativas del Perú-Catálogo de variedades y usos gastronómicos. Editor Ministerio de Agricultura-Año Internacional de la Papa. Lima-Perú. 120 p. ISBN 978-603-45230-0-5
- Hartmut, K. and A. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591.
- Hawkes, J.G. 1983. The diversity of crop plants. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- Huaman Z., Salas A., Gomez R., Panta A. and Toledo J. 2000. Conservation of Potato Genetic Resources at CIP. p. 102-112. In: Potato, Global Research & Development. Volume I. S.M. P. Khurana et al. (eds). Indian Potato Association, Shimla.
- Huaman, Z. 1998. Collection, maintenance and evaluation of potato genetic resources. *Plant varieties and seed* 11: 29-38.
- Huamán, Z., R. Ortiz, R. Gomez, 2000. Selecting a *Solanum tuberosum* subsp. andigena core collection using morphological, geographical, disease and pest descriptors. *Am. J. Potato Res.* 77(3): 183-190.
- Maxted, N., et al, eds. 1997. Complementary conservation strategies. In *Plant Genetic Conservation, the in situ Approach*, pp 15-39. Chapman and Hall, London.
- Mercer, Kristin L. and Hugo R. Perales, 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary applications* 480-493. ISSN 1752-4571.
- Palta, J., B. Whitaker and L. Weiss. 1993. Plasma membrane lipids associated with genetic variability in freezing tolerance and cold acclimation of *Solanum* species. *Plant Physiol.* 103: 793-803
- Panta, A., Gopal, J., Ames, M., Rodríguez, F., Perazzo, G., Gómez, R., Huamán, Z., Golmirzaie, A., Ghislain, M., y Roca, W. (2003) Verificación de estabilidad genética de clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) después de su criopreservación. In: Red Mundial de Científicos Peruanos (RMCP), Congreso 2003, Enero 2-5, 2003. RMCP, Lima, Perú.
- Panta, A., J. Gopal, M. Ames, F. Rodriguez, G. Perazzo, R. Gomez, Z. Huaman, A. Golmirzaie, M. Ghislain and W. Roca. 2003. Genetic stability of potato landraces recovered from slow growth and cryopreservation. Submitted to *Amer. Pot. Journal*.
- Perazzo, G., A. Panta, F. Rodriguez, R. Gomez, J. Toledo, Z. Huaman, et al. 2001. Clonal true to type verification of potato accessions retrieved from in vitro conservation and cryopreservation. p. 175-183. In *Scientist and farmer: Partners in research for the 21st century. Program Report, 1999-2000. International Potato Center (CIP), Lima (Peru)*.
- Rao N.K.S. Bhatt R.M. and Sadashiva A.T. 2001. Tolerance to water stress in tomato cultivars *Photosynthetica* 38:465-467.
- Roca, W., C Ynouye, C Espinoza, C Zorrilla, A Salas, R Gómez, A Panta and I Manrique. The Conservation and utilization of Crop Genetic Resources in the Tropics. UNESCO-EOLSS (in review)
- Roca, W., C. Ynouye, I. Manrique, C. Arbizu and R. Gomez (2007) Indigenous Andean Root and Tuber Crops: New Foods for the New Millennium, *Horticultural Science Focus. Chronica Horticulturae. A Publication of The International Society for Horticultural Science •Vol 47 • Number 4 • 13-19*
- Schafleitner R., Gutierrez R. O., Espino R., Gaudin A., Pérez J., et al. (2007b). Field Screening for Variation of Drought Tolerance in *Solanum tuberosum* L. by Agronomical, Physiological and Genetic Analysis. *Potato Research*, 50, pp. 71–85.

- Stark J.C. Pavek J.J. Mccann I.R. 1991 Using Canopy Temperature Measurements to Evaluate Drought Tolerance of Potato Genotypes. *J.Am.Soc.Hort.Sci.*116:412-415
- Storey, R.M.J. and H. Davies. 1992. Tuber quality. In: Harris, P.M. (ed.). *The Potato Crop*, 2nd Edition. Chapman and Hall, London. Pp. 507-569.
- Sultan, S.E. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Botanica Neerlandica* 44:363-383.
- Thomashow, M.F. 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant Physiology* 118:1-7.
- Towill, L. 1984. Survival at ultra-low temperatures of shoot tips from *Solanum tuberosum* group *andigena*, *phureja*, *stenotomum*, *tuberosum*, and other tuber-bearing *Solanum* species. *Cryo-Letters* 5: 319-326.
- Van Der Mescht, A., J. De Ronde, T. Van Der Merwe and F. Rossouw. 1998. Changes in free proline concentrations and polyamine levels in potato leaves during drought stress. *South African Journal of Science*. 94(7): 347-357.
- Warren K. Coleman 2008. Evaluation of wild *Solanum* species for drought resistance 1. *Solanum gandarillasii* Cardenas. *Environ.Expl.Bot.*62:221-230.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Lista de 57 cultivares nativos seleccionados en CIP por el equipo de Enrique Chujoy y Rolando Cabello, con tolerancia, tolerancia moderada y controles tolerantes y susceptibles a déficit hídrico en condiciones de La Molina - Perú, estos materiales fueron utilizados para validar y experimentar en campos de agricultores de los Andes del Perú.

cv Code Expm	Cultivar Numero CIP	Numero Colector	Nombre Cultivar	Spp*	Pais	Reaccion a Sequia Terminal en LaMolina**
1	700174	PPP SA-2137	Unknown	SOLADG	PER	Susceptible
2	700921	PPP 0921	Ccompis	SOLADG	PER	Control tolerante
3	700932	PPP 0932	Okella Quehuille	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
4	701076	PPP 1076	Muru Warmi	SOLCHA	PER	Moderadamente tolerante
5	701559	PPP 1559	Almidona Clucel	SOLADG	PER	Tolerante
6	701641	PPP 1641	Yana Pepino	SOLADG	PER	Tolerante
7	701707	PPP 1707	Aracc Zapato	SOLCHA	PER	Moderadamente tolerante
8	702514	HUA 70-334	Chata Blanca Ojos Morados	SOLADG	PER	Tolerante
9	702870	LOP 887	Chumera	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
10	703365	CCC 4236	Holandesa	SOLADG	COL	Tolerante
11	703415	HUA 658	Raiz de Palo	SOLADG	PER	Susceptible
12	703456	OCH 11217	Unknown	SOLADG	VEN	Moderadamente tolerante
13	703457	OCH 11144	Criolla	SOLADG	VEN	Moderadamente tolerante
14	703477	JAK 17	Chimbina	SOLADG	PER	Susceptible
15	703610	CHM 546	Papa Cacho	SOLTBR	CHL	Susceptible
16	703651	HAW 6178	Sacampaya	SOLCHA	BOL	Tolerante
17	703825	OCH 5648	China Runtush	SOLGON	PER	Susceptible
18	703876	OCH 6506	Wiskurpa Atakan	SOLSTN	PER	Susceptible
19	703905	OCH 7141	Huata Colorada	SOLADG	ECU	Susceptible
20	703912	OCH 7446	Wyaruro	SOLADG	PER	Tolerante
21	703933	OCH 8015	Titere	SOLSTN	PER	Tolerante
22	703942	OCH 8200	Puka Nawi	SOLADG	PER	Tolerante
23	704073	OCH 10535	Abajeña	SOLADG	BOL	Susceptible
24	704130	OCH 11500	Jerga Suytu	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
25	704157	OKA 6405	Runa Blanca	SOLADG	ARG	Moderadamente tolerante
26	704161	OKA 6459	Luqui Morada	SOLCUR	ARG	Susceptible
27	704215	PPP-HYO A	Uccu Huayro	SOLCHA	PER	Moderadamente tolerante
28	704231	HJA 1363	Jancko Yari	SOLJUZ	BOL	Moderadamente tolerante
29	704270	CUA 534	Wira Pasña	SOLGON	PER	Moderadamente tolerante
30	704414	OCH 5272	Mullu Winku	SOLJUZ	PER	Susceptible
31	704417	OCH 5323	Tumi	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
32	704434	OCH 5672	Morales	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
33	704440	OCH 5805	Venancia	SOL	PER	Tolerante
34	704556	OCH 8677	Pukuchu	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
35	704591	OCH 9249	Yana Putis	SOLCHA	PER	Tolerante
36	704606	OCH 9383	Puma Luntu	SOLCHA	PER	Moderadamente tolerante
37	704909	IBTA 1360	Surinama	SOLSTN	BOL	Moderadamente tolerante
38	705009	UACH 1159	Purranca	SOLTBR	CHL	Susceptible
39	705114	CCC 4617	Dulzona Ocaguarra	SOLADG	COL	Susceptible
40	705234	HSO 103	Unknown	SOLADG	ECU	Tolerante
41	705238	HSO 147	Guata	SOLADG	ECU	Susceptible
42	705445	CUA 105	Uqi Nawi	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
43	705447	CUA 126	Yana Suytu	SOLADG	PER	Moderadamente tolerante
44	705454	CUA 180	Wayru	SOLADG	PER	Tolerante
45	705490	CUA 412	Muru Warkatina	SOLCHA	PER	Tolerante
46	705575	CUA 846	Llikapa Runrun	SOLGON	PER	Moderadamente tolerante
47	705613	HJT 5468	Unknown	SOLADG	PER	Tolerante
48	705739	UNSAM 41	Renacimiento	SOLAXA	PER	Tolerante
49	705780	BRU 368	Yacolumi	SOLADG	PER	Susceptible
50	706172	BOM 554	Unknown	SOLADG	ECU	Tolerante
51	706676	CESA 5	Puca Mama	SOLCHA	PER	Moderadamente tolerante

52	706724	CUA 86	Puka Allqu	SOLADG	PER	Tolerante
53	706727	CUA 785	Duraznillo	SOLCHA	PER	Tolerante
54	706882	UNSAA 1014	Wawa Callu	SOLSXG	PER	Tolerante
55	707129	CUA 174	Wayru	SOLCHA	PER	Susceptible
56	707135	CUA 699	Puka Duraznillo	SOLCHA	PER	Tolerante
57	704222	OCH 4744	Mayme Shicra	SOLADG	PER	Susceptible

* SOLADG: *Solanum tuberosum* subsp. *andigenum*; SOLCHA: *S. x chaucha*; SOLSTN: *S. stenotomum* subsp. *stenotomum*; SOLTBR: *S. tuberosum* subsp. *tuberosum*; SOLGON: *S. stenotomum* subsp. *goniocalyx*; SOLCUR: *S. x curtilobum*; SOLJUZ: *S. x juzepczukii*; SOL: *Solanum hybrid*; SOLAXA: ADG x ADG; SOLSXG: STN x GON

** Referencia bibliográfica; (1) Chujoy y Cabello, 2010; (2) Base de datos del Centro Internacional de la Papa, revisada en Set. 2010.

Tabla 2.- Cultivares locales (Taucca, Chinchero) seleccionados por su tolerancia aheladas

Codigo	Nombre nativo	Calificacion local de tolerancia a heladas	Especie	Uso	Tipo de papa
t1	Yuraq Waña	T	Cur	Moraya	Amarga
t2	Azul Inka	T	Adg	Moraya	Un poco amarga
t3	Yuraq Qewillu	T	Adg	Chuño	Normal
t4	Puka Qewillu	T	Adg	Chuño	Normal
t5	Muru Qewillu	T	Adg	Chuño	Normal
t6	Yuraq Tumbus	MT	Adg	Chuño	Normal
t7	Yana Qhachun Waq'achi	MT	Cha	Chuño	Normal
t8	Yana Wamanero	MT	Cha	Chuño	Normal
t9	Puka Mama	mt	Cha	Chuño	Normal

Donde: t1 al t9 = Taucca 1 al Taucca 9;

T = Tolerante, MT = Moderadamente tolerante;

Especies de papa cultivada: Cur = *Solanum x curtilobum*, Adg = *S. tuberosum* subsp *andigenum*, *S. x chaucha*

Tabla 3.- Materiales de Germoplasma de papa silvestre usados en experimentos para reacción a heladas y sequía en localidades andinas del Perú.

Comunidad, Distrito, Provincia	Heladas	Sequia	In-situ
Huancavelica:			
i. San José de Aymara, Pazos, Tayacaja	acl, buk		acl, buk
ii. Santa Rosa, Colcabamba, Tayacaja		grc	grc
Cusco:			
i. Taucca, Chinchero, Urubamba	acl, buk		acl, buk
ii. Ccollanas, Maras, Urubamba		lgl, trp, rap	lgl, trp, rap

Donde los acrónimos estandarizados representan a las siguientes especies de papa silvestre: acl = *Solanum acaule* Bitter; buk = *S. bukasovii* Juz.; grc = *S. gracilifrons* Bitter; lgl = *S. lignicaule* Vargas; trp = *S. tarapatanum* Ochoa; rap = *S. raphanifolium* Cárdenas & Hawkes.

Tabla 4.- Lista de Variables estudiadas:

<ul style="list-style-type: none"> • LPromEstol: Longitud promedio de los Estolones (cm/estolon). • TamPromTub: Tamaño promedio de los Tubérculos (cm/tuber). • PTuberFrec: Peso Tubérculo tamaño más frecuente, pesotuber moda (g/tuber). • TotEstol: Nº total de estolones (conteo directo) • EstolSinTub: Nº de estolones sin tubérculos (conteo directo) • EstolTubInic: Nº de estolones con inicio de tuberización (conteo directo) • EstolTub1cm: Nº de estolones con tubérculos > a 1 cm (conteo directo) • PesoTotalTub: Peso total de tubérculos (g) • PFrescoAereo: Peso fresco parte Aérea (incluye hoja de lectura) (g) • PFrescoRad: Peso fresco parte Radicular (peso incluye tubérculos) (g) • PSecoAereo: Peso seco¹¹ parte Aérea (g) • PSecoRad: Peso seco parte Radicular (peso de raíz y tubérculos < a 1 cm) (g) • PFrescoTub200g: Peso fresco de tubérculo (> a 200g) (g) • PSecoTub: Peso seco Tubérculos (g) • NPlantas: Nº Plantas (conteo directo) • NTubers: Nº Tubérculos (conteo directo)

¹¹ Peso seco (g): Método Estufa, a 105°C/24 hrs, de muestra seca al aire, peso en Balanza de 3 decimales

- NTubDan: N° Tubérculos dañados (conteo directo)
- PTubers: Peso Tubérculos (g)¹²
- DiasFlorOpen: N° de días a 1era flor abierta (conteo directo)
- RacimPlanta: N° total de racimos por planta (conteo directo)
- TFlorPlanta: N° total de flores por planta (conteo directo)
- TBayasPlanta: N° total de bayas por planta
- Rend: Peso Tubérculos (g) / N° Plantas
- PromTubers: Peso Tubérculos (g) / N° Tubérculos
- MSAerea: Peso seco (gr) de Parte Aérea / Peso fresco (gr) de Parte Aérea
- MSRadíc: Peso seco (gr) de Parte Radicular / Peso fresco (gr) de Parte Radicular

Tabla 5.- Procedimientos para la determinación de Variables e Índices en papa

Preparado por: René Gómez, Alberto Salas y Milton Gamarra

<p>A. Indicaciones para la Determinación de las Variables:</p> <p>A.1. AREA FOLIAR, en la etapa de floración, al 50% del cultivar (cv) Método: escaneo de la hoja de lectura¹³.</p> <p>PASOS:</p> <p>A.1.1. Muestreo de hojas de 3 plantas representativas por cada cultivar</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Muestrear la hoja de lectura cortando en la inserción entre el peciolo y el tallo principal ✓ Pesar la hoja fresca (peso inicial) y registrar (indicador de humedad en la hoja) ✓ Utilizando un plumón indeleble marcar en cinta "masking tape" el código respectivo y adherir ala muestra para su identificación. <p>A.1.1.1 Herborización</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Herborizar colocando en superficie plana y extendiendo cuidadosamente la hoja muestreada junto con su identidad, entre papeles de periódico y luego estos entre cartones desecantes, estos paquetes en conjunto colocar entre rejillas y prensarlos ✓ Colocar las herborizaciones en rejillas prensadas, en un módulo o equipo de prensa conaire caliente circulante o calor de luz incandescente para su adecuada desecación ✓ Al día siguiente descubrir y corregir alguna arruga para una mejor extensión, de sernecesario cambiar el papel periódico conservando la identidad de la muestra, volver aorganizar, girar las prensas y continuar con la desecación ✓ Pesar la hoja seca (peso final) y registrar (calcular el indicador porcentual de la humedad en la hoja) <p>A.1.1.2 Escaneado para determinar área foliar</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ En un "scanner" colocar hacia la esquina inferior izquierda una escala de referencia en cm², de colores contrastantes, cuya extensión lineal servirá como referencia de longitud y particularmente la superficie de cuadrados servirá como referencia de área o superficie encm², relacionándolo con la superficie expuesta por la muestra de hoja debidamente codificada. Al costado colocar también el identificador de la muestra. ✓ Hacia la parte principal del "scanner" colocar la muestra de hoja extendida correspondiente. ✓ Pulsar "preview" para asegurarse del formato de la imagen, de la adecuada ubicación de la referencia e identidad ✓ Pulsar "scan" para ejecutar y obtener una imagen a full color ✓ La imagen producto del "escaneo" registrar renombrando con su correspondiente identificador o clave para su fácil reconocimiento, almacenar las imágenes en un disco confiable para su fácil recuperación <p>A.1.1.3 Determinación del área de la hoja en imagen</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Para determinar el área de cada hoja escaneada y que se guarda como imagen y cuya identificación corresponde al nombre del archivo, utilizando el programa comercial "Photoshop" la imagen será analizada evaluando número de pixeles por área seleccionada, en este caso número de pixeles por cm² de la escala de referencia que acompaña y por extensión los cm² de la selección del contorno de la imagen incógnita. ✓ Transcribir las lecturas a la matriz de datos correspondiente ✓ Calcular el área foliar para cada caso, empleando regla de tres. Numero de pixeles por 1 cm² de la escala versus Numero de pixeles de la superficie involucrada dentro del perímetro de la hoja, llevar a cm²/hoja <p>A.2 COBERTURA o "Canopy" es la cobertura por la parte aérea o "follaje" de las plantas de papa sobre los espacios laterales o distancia entre surcos vecinos, este carácter es una expresión agronómica, cuanto</p>
--

¹² Peso de Tubérculo inicial se tomó en Kg para el análisis se transformó en gramos

¹³ Hoja de lectura corresponde a la hoja compuesta utilizada para la caracterización morfológica, viene a ser la hoja inserta a media altura del tallo principal de la planta representativa.

mayor la cobertura mejor uso de los espacios con fines de exposición de las hojas para fotosíntesis

- ✓ Calificar la cobertura de la parte aérea de las plantas sobre el espacio lateral de cada surco
 1. cubre o abarca hasta aprox. 10 cm a cada lado del tallo principal, sobre el anticlinal o lomo del surco
 2. cubre o abarca hasta aprox. 20 cm a cada lado del tallo principal, sobre el anticlinal o lomo del surco
 3. cubre o abarca el lomo o anticlinal del surco, hacia el ancho del surco; aproximadamente 30 cm. a cada lado del tallo principal
 4. cubre o trasciende el lomo de surco, hasta la calle del surco aprox. de 40 cm. a cada lado del tallo principal
 5. cubre o abarca completamente el ancho del surco, incluido la sinclinal, fondo o canal del surco.
- ✓ Registrar la calificación indicando la fecha de evaluación, en una matriz de datos

Observaciones: El ancho entre surcos normalmente es de 90 cm.

Calificar comparativamente una sola vez para todos los cultivares al momento de la floración (50% de cultivares floreciendo, el objetivo es saber si hay diferencias en cobertura entre cada uno de los cultivares

A.3 TUBERIZACION

Se define como el proceso de formación y desarrollo de los tubérculos a partir del engrosamiento del tallo subterráneo denominado estolón, en el periodo de crecimiento y desarrollo de las plantas de papa

Se deben evaluar 3 plantas al inicio del periodo de floración de cada cultivar, por tratarse de una evaluación muy trabajosa, se utilizará una planta, esta será la última planta de cada surco que contiene cada cv.

- ✓ Codificar las plantas a extraer con cinta "masking tape" aplicando en el tallo principal
- ✓ Extraer la planta cuidadosamente sin romper algún estolón o partes de la planta
- ✓ Hacer un lavado para eliminar la tierra adherida a las partes subterráneas utilizando un balde con agua, del cual hay que recuperar todas las partes vegetales posibles
- ✓ Colocar en bolsa de papel debidamente codificado para que se oree, trasladar a un ambiente con sombra
- ✓ Pesar las partes aérea y subterránea (peso fresco y registrar)
- ✓ Inmediatamente proceder a evaluar:
 - a. Número total de estolones
 - ✓ Por conteo directo
 - ✓ Registrar datos
 - b. Longitud de estolones (cm.)
 - ✓ Medir longitud de cada estolón en cm, usar regla
 - ✓ Registrar los datos
 - c. Tuberización
 - ✓ Número de estolones sin tubérculos
 - ✓ Número de estolones con inicio de tuberización o engrosamiento
 - ✓ Número de estolones con tubérculos mayores a 1 cm.
 - ✓ Medir tamaño de cada tubérculo en cm. (utilizando vernier):
 - Altura (desde base hasta ápice de tubérculo).
 - y ancho o diámetro
 - ✓ Peso de cada tubérculo en gr
 - ✓ Peso total de tubérculos en gr
 - ✓ Registrar los datos
 - d. Peso fresco g
 - ✓ Pesar la parte aérea (g), desde el cuello de la planta hasta la parte apical: tallos, hojas, inflorescencia, bayas, incluir en el peso la hoja de lectura antes de su herborización
 - ✓ Pesar la parte subterránea (g): estolones, raíces y tubérculos. Usar una balanza digital de 0.1 gr de lectura mínima.
 - ✓ Secar las muestras manteniendo sus claves, inicialmente al ambiente, luego en estufa
 - e. Peso seco g
 - ✓ Pesar la parte aérea seca (gr), incluir el peso de la hoja de lectura seca
 - ✓ Pesar la parte subterránea seca (gr): estolones, raíces y tubérculos
 - f. Cálculo de materia seca (MS)

A.4 TUBERCULOS¹⁴ A LA COSECHA

Se cosechan las plantas restantes, realizar planta por planta

¹⁴**Tubérculos.** Son tallos modificados con capacidad de almacenamiento de carbohidratos y otras sustancias nutritivas y funcionales útiles en la alimentación, principalmente tienen desarrollo subterráneo con crecimiento limitado y vida anual posterior a la senectud y muerte de la planta que le dio origen. También son medios de multiplicación por las yemas que presentan, por lo general presentan un periodo de dormancia hasta que las yemas se activan para convertirse en brotes de crecimiento, la energía almacenada se invierte en la producción de tallos aéreos.

Usar 01 bolsa de papel kraft mediano con su respectiva clave para cada planta y una bolsagrande o malla para contener las anteriores bolsas.

a.- Número de Tubérculos por Planta

- ✓ Contar y recoger los tubérculos por cada planta manteniendo el orden
- ✓ Registrar datos

Paralelo al conteo usar balanza digital en gramos (capacidad aprox. 2 Kg) para pesar los tubérculos

b.- Peso de Tubérculos por Planta

- ✓ Pesar tubérculos por planta.
- ✓ Registrar datos

B. Determinación de las Variables para Índice

B.1 TIEMPO A LA FLORACION

- ✓ Número de días desde la fecha de siembra hasta el inicio de la floración en cada uno de los cvs o unidades experimentales
- ✓ Registrar número de días y fecha a la primera flor abierta
(Para papas silvestres considerar a partir de la fecha de emergencia)

B.2 NUMERO DE FLORES POR PLANTA

- ✓ Numero de flores por inflorescencia y por planta (El conteo se realizara cada semana)
- ✓ Indicar fechas de inicio y finalización de la floración (periodo de floración)
- ✓ Hacer conteo de primeras flores por cada inflorescencia, y marcar cada flor contada con un hilo (lana) de color para no volver a repetir, por cada inflorescencia.
- ✓ En las inflorescencias, al inicio de la floración, colocar mallas para cruzamiento, para que se generen principalmente bayas de autofecundación, colocar también etiquetas identificadoras para registrar fechas, flores y bayas por inflorescencia
- ✓ Continuar el conteo de flores hasta la apertura de la última flor por cv.
- ✓ Determinar el número total de flores por inflorescencia y por planta
- ✓ Registrar datos según cada evento

B.3 NUMERO DE BAYAS POR PLANTA

- ✓ Numero de bayas por inflorescencia y por planta (El conteo se realizara cada semana luego de 30 días después del tiempo de floración)
- ✓ Indicar fechas de inicio y finalización de la formación de bayas y la cosecha de las mismas
- ✓ Hacer conteo de primeras bayas por cada racimo, y marcar cada baya contada con un hilo (lana) de color diferente al usado para flores, para no volver a repetir.
- ✓ Continuar hasta la formación de la última baya.
- ✓ Determinar el número total de bayas por racimo y por planta
- ✓ Registrar datos según cada evento

B.4 NUMERO DE SEMILLAS POR BAYA POR PLANTA

- ✓ Numero de semillas por baya, por racimo y por planta (conteo directo)
- ✓ Cosechar bayas de acuerdo a la maduración (después de 45 días y dejar madurar hasta antes de sumaceración (hasta consistencia blanda)
- ✓ Macerar las bayas para obtener las semillas de cada baya y lavar adecuadamente usando un cedazo o colador fino, pasar las semillas a papel toalla para su adecuado secado, mantener su identidad
- ✓ Al inicio secar bajo luz difusa hasta perder la mayor humedad, luego al aire bajo sombra
- ✓ Limpiar y contar las semillas manteniendo su identidad
- ✓ Registrar los datos
- ✓ Determinar el promedio de semillas por baya por planta

C. Procedimiento alternativo para producción de tubérculos-semilla en campos de agricultores:

En campo de agricultores, cuando no se cuenta con tubérculos de semilla de aceptable calidad fitosanitaria, durante campañas previas a la experimentación se pueden conseguir los tubérculos semilla de calidad fitosanitaria aceptable aplicando la selección positiva, pero cuando ya se tienen tubérculos con aceptable calidad fitosanitaria se aplicara la Selección negativa que consiste en erradicar las plantas que presentan algún(os) signo(s) de enfermedades virales como parte del mantenimiento de la sanidad.

SELECCIÓN Positiva (+): manejo agronómico para conseguir semilla de mejor calidad con énfasis en cultivares locales que generalmente presentan menor calidad fitosanitaria.

- ✓ Algunas semanas antes de la floración de las plantas de papa, marcar con cinta roja en la base del tallo principal de las plantas que muestran mejores condiciones de sanidad por cada cultivar (esta selección positiva deberá aplicarse en la mañana de un día con menos luz directa para observar con mejor nitidez las moteaduras o clorosis en las hojas u otros signos de enfermedades virales, es un método bueno para la obtención de tubérculos semilla cada vez con mejor calidad)
- ✓ Cuidar que las características de la parte aérea de las plantas marcadas pertenezcan al cultivar trabajado. Cuando estén en floración confirmar su identidad.
- ✓ Transcribir a una matriz de datos el nombre del cultivar e indicando la posición de las plantas

marcadas (ej cv1: p1, p4, p8, etc)

- ✓ Las plantas marcadas deberán cosecharse cuidadosamente, luego del periodo de senescencia y con anterioridad a las otras plantas no seleccionadas y se almacenaran como tubérculos-semilla para la siguiente campaña de multiplicación y/o ensayo experimental.

Este procedimiento permite producir tubérculos-semilla de aceptable calidad para su distribución entre los participantes, la aplicación rápida de este método, en el corto plazo (resulta muy bueno 3 campañas consecutivas), permite obtener tubérculos-semilla menos enfermas pudiendo llegar hasta calidad de "semilla declarada". *Fin Lista 2 procedimientos.*

Tabla 6.- Lista de Equipos y suministros utilizados para las evaluaciones

- Cinta métrica (para longitudes y altura de planta)
- Vernier (para tubérculos)
- Baldes (para lavar raíces)
- Balanza digital de 0.1 gr de lectura mínima
- Bolsas de papel varios tamaños
- Papel toalla
- Pizeta para agua
- Mallas para cruzamientos
- Etiquetas para cruzamientos
- Laptop y Base de datos
- Pocket PC (lector de código de barras y registro datos)
- Vasos transparentes grandes (para maceración de bayas)
- Cedazos (para lavado de semillas)
- Plumones indelebles
- Lápices
- Cámara fotográfica digital
- Horno (secado muestras)
- Varios

Tabla 7.- Lista de variables más informativas y determinantes que contribuyeron significativamente al estudio, los cuales se usaron en los ensayos de las campañas 2011-2012 y 2012-2013

- TamPromTub: Tamaño promedio de los Tubérculos (cm/tuber).
- PTuberFrec: Peso Tubérculo tamaño más frecuente, peso tuber moda (g/tuber).
- PesoTotalTub: Peso total de tubérculos (g)
- PFrescoAereo: Peso fresco parte Aérea (incluye hoja de lectura) (g)
- PFrescoRad: Peso fresco parte Radicular (peso incluye tubérculos) (g)
- PSecoAereo: Peso seco¹⁵ parte Aérea (g)
- PSecoRad: Peso seco parte Radicular (peso de raíz y tubérculos < a 1 cm) (g)
- PFrescoTub200g: Peso fresco de tubérculo (> a 200g) (g)
- PSecoTub: Peso seco Tubérculos (g)
- NPlantas: N° Plantas (conteo directo)
- NTubers: N° Tubérculos (conteo directo)
- N TubDan: N° Tubérculos dañados (conteo directo)
- PTubers: Peso Tubérculos (g)¹⁶
- Rend: Peso Tubérculos (g) / N° Plantas
- PromTubers: Peso Tubérculos (g) / N° Tubérculos
- MSAerea: Peso seco (gr) de Parte Aérea / Peso fresco (gr) de Parte Aérea
- MSRad: Peso seco (gr) de Parte Radicular / Peso fresco (gr) de Parte Radicular
- Como se puede apreciar en esta lista, las variables relacionadas a los estolones y a las flores y bayas son los que están excluidos por su aporte no significativo al estudio.

¹⁵ Peso seco (g): Método Estufa, a 105°C/24 hrs, de muestra seca al aire, peso en Balanza de 3 decimales

¹⁶ Peso de Tubérculo inicial se tomó en Kg para el análisis se transformó en gramos

Tabla 8. Datos de semilla producidos por genotipos silvestres en experimentos de Fontagro, para sequia en Collanas_Cusco y para heladas en San Jose de Aymara_Huancavelica Campaña 2011_2012

Especie silvestre	Acronimo spp	Surco en campo agricultor	Numero Colector	# Bayas	# semillas	Semillas por Baya	Tuber	Localidad	Altitud (msnm)
S. lignicaule	lgl	81	HHCH 5113	16	515	32	0	Collanas - Erapata	3219
S. lignicaule	lgl	81	SS 7211	0	0	0	0	Collanas - Erapata	3219
S. tarapatanum	trp	81	SS 7214	0	0	0	0	Collanas - Erapata	3219
S. acaule	acl	182	OCH 14277	110	10000	90	7	Aymara - Huaytashaga	3940
S. acaule	acl	185	OCH 14280	90	13000	144	11	Aymara - Huaytashaga	3940
S. acaule	acl	186	HHCH 4582	99	8500	40	13	Aymara - Huaytashaga	3940
S. bukasovii	buk	181	HHCH 5107	166	14000	84	0	Aymara - Huaytashaga	3940
S. bukasovii	buk	183	HHCH 5064a	64	3000	46	12	Aymara - Huaytashaga	3940
S. bukasovii	buk	184	HHCH 5072a	82	7000	85	10	Aymara - Huaytashaga	3940

Baja performance como cultivo, sin embargo destacaron *S. lignicaule* tolerando sequia y *S. acaule* tolerando heladas.

Tabla 9.- Respuesta a heladas en la comunidad de Taucca-Maras, Cusco, de los 57 cultivares nativos seleccionados en CIP, en condiciones de La Molina - Perú, y 9 cultivares locales con tolerancia a heladas. Se validaron por sus respuestas a tres eventos de heladas y sus rendimientos en 3 bloques, durante la campaña 2010-2011

cv Code	Cultivar NCIP	Nombre Cultivar	% de daño por heladas parte aérea			Selección por 2do Evento en Taucca	Selección por Rend. en Taucca	Reacción previa La Molina para NCIPs o Agricultores de Taucca	Rend (gr/planta)	Peso Promedio Tubers (g/tubers)
			1er Evento	2do Evento	3er Evento					
1	700174	Unknown	5	45	100	T		Susceptible	86.96	4.8
2	700921	Q'ompis	5	75	100			Control tolerante	130.29	13.24
3	700932	Okella quewillo	0	40	100	T		Moderadamente tolerante	23.91	3.75
4	701076	Muru warmi	5	60	100	T	Y	Moderadamente tolerante	200.33	24.34
5	701559	Almidona clucel	5	90	100			Tolerante	92.76	4.38
6	701641	Yana pepino	15	90	100			Tolerante	56.33	5.27
7	701707	Araq zapato	5	40	100	T		Moderadamente tolerante	133.11	15.03
8	702514	Chata Blanca Ojos Morados	5	40	100	T		Tolerante	31.29	3.5
9	702870	Chumera	25	80	100	S	Y	Moderadamente tolerante	316.9	24.01
10	703365	Holandesa	30	90	100	S	Y	Tolerante	167.08	23.51
11	703415	Raiz de palo	5	75	100	S	Y	Susceptible	192.07	8.73
12	703456	Unknown	5	90	100			Moderadamente tolerante	99.39	9.73
13	703457	Criolla	25	45	100	T	Y	Moderadamente tolerante	297.89	15.94
14	703477	Chimbina	20	60	100	T		Susceptible	127.7	6.56
15	703610	Papa cacho	15	90	100			Susceptible	67.44	5.77
16	703651	Sakampaya	5	95	100			Tolerante	77.08	8.42
17	703825	China runtush	5	20	100	T		Susceptible	148.54	8.89
18	703876	Wiskurpa atakan	0	80	100			Susceptible	76	12.29
19	703905	Wata colorada	20	75	100			Susceptible	150.36	6.82
20	703912	Wayuro	15	90	100	S	Y	Tolerante	177.46	14.96

21	703933	Titerire	15	95	100			Tolerante	32.63	2.81
22	703942	Puka ñawi	5	25	100	T		Tolerante	136.57	7.39
23	704073	Abajeña	5	40	100	T		Susceptible	128.33	11.13
24	704130	Jerga suytu	30	90	100			Moderadamente tolerante	135.03	9.02
25	704157	Runa blanca	20	100	100			Moderadamente tolerante	28.92	1.6
26	704161	Lucki morada	5	40	100	T		Susceptible	92.07	5.31
27	704215	Uqu wayro	5	40	100	T		Moderadamente tolerante	114.72	9.62
28	704231	Hanqo yari	35	100	100			Moderadamente tolerante	51.14	4.6
29	704270	Wira pasña	5	90	100			Moderadamente tolerante	33.94	4.86
30	704414	Mullu winku	5	80	100			Susceptible	88.81	12.84
31	704417	Tumi	5	50	100	T	Y	Moderadamente tolerante	198.88	7.44
32	704434	Morales	5	90	100			Moderadamente tolerante	148.74	18.99
33	704440	Venancia	5	60	100	T		Tolerante	67.1	7.14
34	704556	Pukuchu	5	70	100			Moderadamente tolerante	32.83	2.81
35	704591	Yana putis	5	20	100	Y	Y	Tolerante	167.28	14
36	704606	Puma luntu	5	25	100	T	Y	Moderadamente tolerante	267.38	23.74
37	704909	Surinama	15	90	100			Moderadamente tolerante	111.39	12.1
38	705009	Purranca	20	90	100			Susceptible	120.78	7.32
39	705114	Dulzona Ocaguarra	0	90	100			Susceptible	50.84	4.97
40	705234	Unknown	10	90	100			Tolerante	145.47	23.65
41	705238	Guata	30	90	100			Susceptible	41.42	2.71
42	705445	Uqi ñawi	35	95	100	S	Y	Moderadamente tolerante	234.5	13.25
43	705447	Yana suytu	10	90	100			Moderadamente tolerante	52.48	3.88
44	705454	Wayru	20	90	100	S	Y	Tolerante	332.17	23.03
45	705490	Muru warkatina	5	90	100			Tolerante	137.27	14.12
46	705575	Likapá rurun	5	25	100	T		Moderadamente tolerante	112.69	7.4
47	705613	Unknown	5	80	100			Tolerante	68.28	5.14
48	705739	Renacimiento	5	90	100			Tolerante	91.86	8.33
49	705780	Yacolumi	15	85	100			Susceptible	88.79	3.89
50	706172	Unknown	20	80	100	S	Y	Tolerante	343.15	30.24
51	706676	Puka mama	5	90	100			Moderadamente tolerante	124.93	10.59
52	706724	Puka allqu	15	60	100	T		Tolerante	107.92	5.04
53	706727	Durasnillo	0	20	100	T	Y	Tolerante	183	14.46
54	706882	Wawa qallu	20	90	100	S	Y	Tolerante	249.08	31.67
55	707129	Wayru	5	30	100	T	Y	Susceptible	268.17	24.06
56	707135	Puka durasnillo	5	50	100	T	Y	Tolerante	222.87	23.06
57	704222	Mayme Shikra	5	90	100			Susceptible	8.83	1.36
T1		Yuraq waña	0	30	100	T	Y	T	436.6	13.56
T2		Azul inka	0	25	100	T		T	115.33	9.11
T3		Yuraq qewillu	5	30	100	T		T	149.83	6.92
T4		Puka qewillu	5	35	100	T		T	126.8	5.2
T5		Muru qewillu	5	55	100	T	Y	T	233.25	15.3
T6		Yuraq tumbus	5	45	100	T		MT	146.17	7.31
T7		Yana qhachun waq'achi	5	40	100	T		MT	84.75	4.91
T8		Yana wamanero	5	90	100			MT	17.5	3.18
T9		Puka mama	0	25	100	T	Y	mt	435.67	32.68

Tabla 10.- Respuesta a heladas en la comunidad de San Jose de Aymara-Pazos, Huancavelica, de los 57 cultivares nativos seleccionados en CIP, en condiciones de La Molina - Perú. Se validaron por sus respuestas a eventos de heladas y sus rendimientos en 3 bloques, durante la campaña 2010-2011

cv Code	Cultivar NCIP	Nombre Cultivar	Reaccion previa La Molina	Rend (g/plantas)	Peso Promedio Tubers (g/tubers)
1	700174	Unknown	Susceptible	389	17.507
2	700921	Q'ompis	Control tolerante	633	38.31
3	700932	Okella quewillo	Moderadamente tolerante	459	22.333
4	701076	Muru warmi	Moderadamente tolerante	441	40.234
5	701559	Almidona clucel	Tolerante	459	19.491
6	701641	Yana pepino	Tolerante	320	22.893
7	701707	Araq zapato	Moderadamente tolerante	241	27.676
8	702514	Chata Blanca Ojos Morados	Tolerante	500	30.657
9	702870	Chumera	Moderadamente tolerante	540	30.219
10	703365	Holandesa	Tolerante	382	41.562
11	703415	Raiz de palo	Susceptible	512	20.599
12	703456	Unknown	Moderadamente tolerante	548	19.606
13	703457	Criolla	Moderadamente tolerante	839	21.667
14	703477	Chimbina	Susceptible	456	15.815
15	703610	Papa cacho	Susceptible	178	16.452
16	703651	Sakampaya	Tolerante	317	15.272
17	703825	China runtush	Susceptible	299	25.796
18	703876	Wiskurpa atakan	Susceptible	278	21.325
19	703905	Wata colorada	Susceptible	348	10.483
20	703912	Wayruro	Tolerante	854	44.337
21	703933	Titerire	Tolerante	366	12.512
22	703942	Puka ñawi	Tolerante	715	18.38
23	704073	Abajeña	Susceptible	391	16.65
24	704130	Jerga suytu	Moderadamente tolerante	434	24.126
25	704157	Runa blanca	Moderadamente tolerante	160	5.486
26	704161	Lucki morada	Susceptible	484	27.188
27	704215	Uqu wayro	Moderadamente tolerante	522	37.233
28	704231	Hango yari	Moderadamente tolerante	203	16.924
29	704270	Wira pasña	Moderadamente tolerante	264	15.685
30	704414	Mullu winku	Susceptible	225	23.319
31	704417	Tumi	Moderadamente tolerante	584	21.395
32	704434	Morales	Moderadamente tolerante	138	16.652
33	704440	Venancia	Tolerante	493	35.055
34	704556	Pukuchu	Moderadamente tolerante	170	17.722
35	704591	Yana putis	Tolerante	434	43.158
36	704606	Puma luntu	Moderadamente tolerante	556	52.622
37	704909	Surinama	Moderadamente tolerante	342	20.51
38	705009	Purranca	Susceptible	479	22.118
39	705114	Dulzona Ocaguarra	Susceptible	71	20.29
40	705234	Unknown	Tolerante	603	24.32
41	705238	Guata	Susceptible	387	11.068
42	705445	Uqi ñawi	Moderadamente tolerante	434	25.161
43	705447	Yana suytu	Moderadamente tolerante	494	21.051
44	705454	Wayru	Tolerante	333	23.697
45	705490	Muru warkatina	Tolerante	365	26.058
46	705575	Llikapa rurun	Moderadamente tolerante	558	20.657
47	705613	Unknown	Tolerante	678	32.95
48	705739	Renacimiento	Tolerante	489	24.101
49	705780	Yacolumi	Susceptible	531	18.782
50	706172	Unknown	Tolerante	535	27.561
51	706676	Puka mama	Moderadamente tolerante	448	40.623
52	706724	Puka allqu	Tolerante	484	16.287

53	706727	Durasnillo	Tolerante	628	48.92
54	706882	Wawa qallu	Tolerante	449	59.492
55	707129	Wayru	Susceptible	461	42.697
56	707135	Puka durasnillo	Tolerante	387	33.936
57	704222	Mayme Shikra	Susceptible	144	14.427

Tabla 11.- Las variables supuestas para índice de papa no deben considerarse en un próximo estudio, porque no contribuyen significativamente y son:

- Longitud promedio de los Estolones (cm)
- Nº total de estolones (conteo directo)
- Nº de estolones sin tubérculos
- Nº de estolones con inicio de tuberización
- Nº de estolones con tubérculos > a 1 cm
- Nº de días a 1era flor abierta
- Nº total de racimos por planta
- Nº total de flores por planta
- Nº total de bayas por planta

Tabla 12.- Respuestas de cultivares de papa sometidos a condiciones de heladas y cuyas plantas fueron dañadas fuertemente por la extrema helada del 20 de Abril 2013, ocurrida a los 128 días desde la siembra, en plena etapa de llenado de tubérculos; las variables Rendimiento (Rend) y Peso promedio de tubérculos (PromTubers) son utilizadas para el Análisis estadístico (Heladas 2013 San José de Aymara - Pazos, Huancavelica)

ord	Cultivar Codes during work	Cultivar NCIP	Rep	NP	NT	PT kg	Rend g/planta	Prom Tubers g/tuber	Cultivar Name	Spp*
1	4	701076	r1	10	168	2.04	200	12.143	Muru warmi	SOLCHA
2	9	702870	r1	8	121	2.56	320	21.157	Chumera	SOLADG
3	10	703365	r1	8	100	2.02	250	20.200	Holandesa	SOLADG
4	11	703415	r1	9	184	3.16	350	17.174	Raiz del palo	SOLADG
5	13	703457	r1	10	314	4.34	430	13.822	Criolla	SOLADG
6	17	703825	r1	10	184	3.12	310	16.957	China runtush	SOLGON
7	19	703905	r1	10	248	2.2	220	8.871	Huata colorada	SOLADG
8	20	703912	r1	10	156	4.28	430	27.436	Wayruuro	SOLADG
9	31	704417	r1	10	244	3.12	310	12.787	Tuni	SOLADG
10	32	704434	r1	10	108	2.2	220	20.370	Morales	SOLADG
11	35	704591	r1	10	123	1.64	160	13.333	Yana p'utis	SOLCHA
12	36	704606	r1	10	110	1.6	160	14.545	Puma luntu	SOLCHA
13	42	705445	r1	10	206	5.64	560	27.379	Uqi ñawi	SOLADG
14	44	705454	r1	10	118	4.58	460	38.814	Wayru	SOLADG
15	50	706172	r1	10	170	5.66	570	33.294	Unknown	SOLADG
16	53	706727	r1	8	156	2.5	310	16.026	Durasnillo	SOLCHA
17	54	706882	r1	10	68	2.7	270	39.706	Wawa qallu	SOL
18	55	707129	r1	10	140	5.36	540	38.286	Wayru	SOLCHA
19	57	704222	r1	10	124	1.62	160	13.065	Mayme shikra	SOLADG
20	A	702650	r1	10	220	3.38	340	15.364	Wila yari	SOLAJH
21	B	704229	r1	10	68	1.54	150	22.647	Hanqo anckanchi	SOLAJH
22	C	702282	r1	8	136	2.24	280	16.471	Choquepito	SOLCUR
23	D	702543	r1	10	121	2.82	280	23.306	Waka qorota	SOLCUR
24	E	700921	r1	10	101	1.8	180	17.822	Q'ompis	SOLADG
25	F	704987	r1	9	132	1.84	200	13.939	Yana runa	SOLADG
26	G	703254	r1	7	35	0.18	30	5.143	Darwin Potato	SOLTBR
27	H	390478.9	r1	6	63	2.28	380	36.190	Tacna	SOL
28	I	704161	r1	9	212	2.54	280	11.981	Lucki morada	SOLCUR
29	J	707025	r1	8	180	1.74	220	9.667	Karasapa qoillo	SOLCUR
30	K	707017	r1	9	116	1.14	130	9.828	Lucki	SOLCUR
31	4	701076	r2	10	158	2.12	210	13.418	Muru warmi	SOLCHA

32	9	702870	r2	10	176	5.4	540	30.682	Chumera	SOLADG
33	10	703365	r2	9	94	4.8	500	51.064	Holandesa	SOLADG
34	11	703415	r2	10	186	3.68	370	19.785	Raiz del palo	SOLADG
35	13	703457	r2	9	227	3.68	410	16.211	Criolla	SOLADG
36	17	703825	r2	10	212	3.68	370	17.358	China runtush	SOLGON
37	19	703905	r2	10	159	1.16	120	7.296	Huata colorada	SOLADG
38	20	703912	r2	10	90	4.02	400	44.667	Wayruro	SOLADG
39	31	704417	r2	10	221	2.82	280	12.760	Tuni	SOLADG
40	32	704434	r2	9	78	2.16	240	27.692	Morales	SOLADG
41	35	704591	r2	9	146	1.98	220	13.562	Yana p'utis	SOLCHA
42	36	704606	r2	8	94	1.62	200	17.234	Puma luntu	SOLCHA
43	42	705445	r2	10	229	6.06	610	26.463	Uqi ñawi	SOLADG
44	44	705454	r2	10	147	4.34	430	29.524	Wayru	SOLADG
45	50	706172	r2	10	126	4.24	420	33.651	Unknown	SOLADG
46	53	706727	r2	10	160	2	200	12.500	Durasnillo	SOLCHA
47	54	706882	r2	8	52	2.08	260	40.000	Wawa qallu	SOL
48	55	707129	r2	10	127	5.46	550	42.992	Wayru	SOLCHA
49	57	704222	r2	9	79	0.86	100	10.886	Mayme shicra	SOLADG
50	A	702650	r2	9	191	2.88	320	15.079	Wila yari	SOLAJH
51	B	704229	r2	9	104	1.9	210	18.269	Hanqo anckanchi	SOLAJH
52	C	702282	r2	9	220	2.3	260	10.455	Choquepito	SOLCUR
53	D	702543	r2	7	209	3.3	470	15.789	Waca qorota	SOLCUR
54	E	700921	r2	10	178	3.88	390	21.798	Q'ompis	SOLADG
55	F	704987	r2	9	201	1.46	160	7.264	Yana runa	SOLADG
56	G	703254	r2	6	42	0.2	30	4.762	Darwin Potato	SOLTBR
57	H	390478.9	r2	10	70	2.38	240	34.000	Tacna	SOL
58	I	704161	r2	8	256	3.18	400	12.422	Lucki morada	SOLCUR
59	J	707025	r2	9	148	1.38	150	9.324	Karasapa qoillo	SOLCUR
60	K	707017	r2	8	144	1.18	150	8.194	Lucki	SOLCUR
61	4	701076	r3	8	118	1.68	210	14.237	Muru warmi	SOLCHA
62	9	702870	r3	10	143	3.86	390	26.993	Chumera	SOLADG
63	10	703365	r3	10	163	5.74	570	35.215	Holandesa	SOLADG
64	11	703415	r3	10	302	3.62	360	11.987	Raiz del palo	SOLADG
65	13	703457	r3	9	168	2.82	310	16.786	Criolla	SOLADG
66	17	703825	r3	10	118	2.9	290	24.576	China runtush	SOLGON
67	19	703905	r3	10	272	1.74	170	6.397	Huata colorada	SOLADG
68	20	703912	r3	10	145	5	500	34.483	Wayruro	SOLADG
69	31	704417	r3	10	248	3.34	330	13.468	Tuni	SOLADG
70	32	704434	r3	7	83	1.84	260	22.169	Morales	SOLADG
71	35	704591	r3	9	109	1.52	170	13.945	Yana p'utis	SOLCHA
72	36	704606	r3	10	157	2.8	280	17.834	Puma luntu	SOLCHA
73	42	705445	r3	10	111	7.76	780	69.910	Uqi ñawi	SOLADG
74	44	705454	r3	10	220	7.84	780	35.636	Wayru	SOLADG
75	50	706172	r3	10	182	5	500	27.473	Unknown	SOLADG
76	53	706727	r3	10	111	3.8	380	34.234	Durasnillo	SOLCHA
77	54	706882	r3	8	56	4.12	520	73.571	Wawa qallu	SOL
78	55	707129	r3	10	134	6.3	630	47.015	Wayru	SOLCHA
79	57	704222	r3	9	103	1.34	150	13.010	Mayme shicra	SOLADG
80	A	702650	r3	9	128	2.26	250	17.656	Wila yari	SOLAJH
81	B	704229	r3	10	93	1.74	170	18.710	Hancko anckanchi	SOLAJH
82	C	702282	r3	10	255	3.86	390	15.137	Choquepito	SOLCUR
83	D	702543	r3	9	203	3.26	360	16.059	Waca qorota	SOLCUR
84	E	700921	r3	10	136	2.44	240	17.941	Q'ompis	SOLADG
85	F	704987	r3	7	195	1.42	200	7.282	Yana runa	SOLADG
86	G	703254	r3	5	54	0.28	60	5.185	Darwin Potato	SOLTBR
87	H	390478.9	r3	10	87	3.54	350	40.690	Tacna	SOL
88	I	704161	r3	9	250	2.64	290	10.560	Lucki morada	SOLCUR
89	J	707025	r3	8	158	0.96	120	6.076	Karasapa qoillo	SOLCUR
90	K	707017	r3	9	134	3.32	370	24.776	Lucki	SOLCUR

* SOLADG: Solanum tuberosum subsp. andigenum; SOLCHA: S. x chaucha; SOLSTN: S. stenotomum subsp. stenotomum; SOLTBR: S. tuberosum subsp. tuberosum; SOLGON: S. stenotomum subsp. goniocalyx; SOLCUR: S. x curtilobum; SOLJUZ: S. x juzepczukii; SOL: Solanum hybrid; SOLAXA: ADG x ADG; SOLSXG: STN x GON

Tabla 12a.- Analysis of Variance Table (ANVA), Response: sqrt(Rend)

Fuentes de variacion	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Signif
NCIP	29	1463	50.5	10.4	2.7e-14	***
Residuals	60	292	4.9			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabla 13.- Comparaciones multiples de los rendimientos transformados por raíz cuadrada de los cultivares en condiciones de heladas, los 17 cvs resaltados con fondo amarillo son los mejores por su tolerancia y productividad en condiciones de heladas de San Jose de Aymara (campaña 2012-2013)

Groups	Treatments	means
a	705445	25.43
ab	707129	23.93
abc	705454	23.37
abcd	706172	22.24
bcde	703912	21.03
bcdef	703365	20.68
cdef	702870	20.29
defg	703457	19.53
defg	702543	19.13
defgh	703415	18.97
efgh	706882	18.45
efghi	703825	17.96
efghi	704161	17.92
efghij	390478.9	17.90
efghij	702282	17.54
efghij	704417	17.50
fghij	702650	17.38
fghijk	706727	17.08
ghijkl	700921	16.22
hijkl	704434	15.48
ijklm	704606	14.51
ijklm	701076	14.37
jklm	707017	14.29
klm	704987	13.64
klm	704591	13.51
lm	704229	13.26
lm	703905	12.94
lm	707025	12.68
m	704222	11.63
n	703254	6.233

Tabla 14.- Otros 12 cvs del mismo grupo provenientes de pruebas en invernadero para su tolerancia a sequia (componente 1.1), pero con pocos tubérculos semilla, se incluyeron en el diseño como aumentados. Estas son sus respuestas:

Frost Code	Cultivar NCIP	Block	NP	NT	PT	Rend kg/plant	PromTubers kg/tubers
l	A-800048	1	10	70	3.36	0.34	0.05
m	A-379706.27	1	10	56	2.34	0.23	0.04
n	A-703760	1	10	152	2.62	0.26	0.02
o	A-501065.1	1	10	100	4.98	0.5	0.05
p	A-397077.16	2	10	76	4.12	0.41	0.05
q	A-720089	2	10	70	2.58	0.26	0.04
r	A-702611	2	10	180	2.2	0.22	0.01
s	A-394881.8	2	10	56	1.58	0.16	0.03
t	A-700921	3	10	176	3.74	0.37	0.02
u	A-376181.5	3	10	114	5.62	0.56	0.05
w	A-761102	3	3	6	0.04	0.01	0.01
x	A-NinaMancha	3	10	550	5.8	0.58	0.01

Los NCIP incluye "A-" para identificar a los cvs aumentados
Ninamancha es un cultivar local (farmers cultivar)

Tabla 15.- Resultados de validación de 57 cultivares promisorios en Ccollanas, Maras (Sequia) 2010-2011

Block	Cipnumber	Reaccion a Sequia Terminal en LaMolina*	Reaccion a Sequia en Ccollanas – Maras, Cusco		
			TuberXplanta	PesoXplanta g	AvTuberSize
1	701707	MT	4.6	197.5	42.7
1	705490	T	7.6	202.5	26.6
1	706172	T	11.9	693.3	58.3
1	703457	MT	10.1	284.4	28.1
1	705454	T	9.2	533.3	57.8
1	707135	T	6.0	291.1	48.5
1	703905	S	10.7	251.1	23.5
1	703456	MT	11.1	732.5	65.8
1	704591	T	2.4	120.0	50.5
1	703933	T	8.7	253.3	29.2
1	705445	MT	7.0	515.0	73.6
1	703651	T	7.1	140.0	19.6
1	702870	MT	8.1	352.0	43.5
1	706676	MT	3.9	94.3	24.4
1	705234	T	13.0	640.0	49.2
1	703413	S	6.3	182.9	29.1
1	701641	T	3.3	52.5	16.2
1	701076	MT	5.6	195.6	35.2
1	705114	S	2.8	28.0	10.0
1	705780	S	9.7	160.0	16.6
1	703825	S	5.0	50.0	10.0
1	705447	MT	9.7	160.0	16.6
1	707129	S	3.9	194.0	49.7
1	701559	T	13.2	142.2	10.8
1	704556	MT	3.1	108.9	35.0
1	705009	S	4.8	262.2	54.9
1	700921	T	10.0	486.7	48.7
1	704417	MT	8.2	274.0	33.4
1	706882	T	4.8	535.0	112.6
1	703942	T	8.4	98.2	11.7
1	703477	S	9.0	180.0	20.0
1	705575	MT	5.0	113.3	22.7
1	704414	S	9.0	260.0	28.9
1	705238	S	31.0	417.1	13.5
1	703610	S	6.8	360.0	53.3
1	704434	MT	5.6	260.0	46.7
1	704157	MT	2.3	46.7	20.0

1	704270	MT	5.7	53.3	9.4
1	700174	S	17.6	368.0	20.9
1	703912	T	5.5	350.0	63.6
1	700932	MT	7.0	248.9	35.6
1	704440	T	6.3	170.0	27.2
1	704215	MT	4.4	277.1	62.6
1	704222	S	3.0	93.3	31.1
1	706727	T	5.5	207.5	37.7
1	704909	MT	7.0	128.0	18.3
1	706724	T	25.8	1202.5	46.7
1	704606	MT	4.8	190.0	39.3
1	705613	T	10.4	495.0	47.7
1	704073	S	4.9	85.0	17.4
1	704130	MT	7.3	100.0	13.6
1	702514	T	9.1	82.9	9.1
1	704161	S	5.3	160.0	30.3
1	703365	T	6.7	671.4	100.0
1	703876	S	5.2	124.4	23.8
1	704231	MT	2.5	40.0	16.0
1	705739	T	18.2	880.0	48.3
2	704591	T	5.5	290.0	52.7
2	705454	T	10.8	465.0	43.3
2	700932	MT	8.7	186.7	21.5
2	703912	T	6.3	345.0	55.2
2	704414	S	4.4	173.3	39.0
2	704215	MT	3.6	117.1	32.8
2	705739	T	17.0	551.1	32.4
2	704073	S	2.9	52.5	18.3
2	705114	S	3.6	62.9	17.6
2	703610	S	4.9	350.0	71.4
2	704157	MT	25.7	275.6	10.7
2	703456	MT	10.8	737.8	68.5
2	704556	MT	3.3	93.3	28.0
2	704222	S	3.5	33.3	9.5
2	704440	T	5.6	96.0	17.1
2	703933	T	10.1	182.5	18.0
2	706727	T	8.1	302.9	37.2
2	705234	T	7.6	425.0	55.7
2	701559	T	6.0	91.1	15.2
2	704231	MT	2.8	44.0	15.7
2	700921	T	7.0	311.4	44.5
2	703457	MT	23.7	542.2	22.9
2	704161	S	4.0	117.1	29.3
2	704270	MT	8.4	120.0	14.2
2	702514	T	10.6	160.0	15.2
2	701076	MT	4.5	133.3	29.6
2	703365	T	5.8	535.6	92.7
2	703651	T	8.9	136.3	15.4
2	700174	S	18.3	342.5	18.8
2	704417	MT	9.2	175.6	19.0
2	705490	T	3.4	86.3	25.6
2	706882	T	3.7	260.0	70.9
2	703825	S	5.5	100.0	18.2
2	706724	T	16.9	546.7	32.4
2	705447	MT	10.6	293.3	27.8
2	702870	MT	13.2	323.3	24.6
2	707135	T	6.3	252.5	40.4
2	701707	MT	3.3	214.3	65.2
2	705445	MT	5.6	411.4	73.8
2	704130	MT	6.2	84.0	13.5

2	703413	S	8.6	295.0	34.2
2	703905	S	15.0	188.9	12.6
2	703477	S	8.5	86.7	10.2
2	704909	MT	7.3	162.5	22.4
2	703942	T	4.0	60.0	15.0
2	703876	S	2.8	30.0	10.6
2	706172	T	10.1	667.5	65.9
2	705009	S	5.7	235.6	41.6
2	707129	S	4.4	145.7	32.9
2	706676	MT	6.2	213.3	34.3
2	701641	T	4.0	46.7	11.7
2	704434	MT	5.5	230.0	41.8
2	705575	MT	3.3	43.3	13.0
2	704606	MT	3.6	126.7	35.6
2	705613	T	8.0	296.7	37.1
2	705238	S	15.8	275.6	17.5
2	705780	S	13.7	228.9	16.7
3	702514	T	9.0	186.7	20.7
3	700921	T	14.1	60.0	4.3
3	704270	MT	4.1	77.1	18.6
3	704215	MT	4.8	262.2	54.9
3	703876	S	2.2	20.0	9.2
3	704909	MT	10.3	217.5	21.2
3	701559	T	7.0	62.5	8.9
3	704231	MT	2.0	26.7	13.3
3	703905	S	11.8	196.7	16.6
3	705780	S	9.0	191.4	21.3
3	705238	S	16.4	255.0	15.6
3	704157	MT	21.3	191.1	9.0
3	703912	T	7.3	442.9	60.8
3	705490	T	6.6	75.6	11.5
3	703825	S	3.3	45.7	13.9
3	700932	MT	8.1	224.4	27.7
3	704440	T	4.6	142.5	30.8
3	704222	S	3.5	43.3	12.4
3	704434	MT	6.3	202.2	31.9
3	705575	MT	6.2	113.3	18.4
3	703942	T	8.5	55.0	6.5
3	704556	MT	4.4	80.0	18.1
3	703477	S	11.9	151.1	12.7
3	704414	S	3.4	112.5	33.3
3	705234	T	11.6	565.0	48.6
3	703457	MT	12.9	340.0	26.4
3	701641	T	8.2	103.3	12.7
3	704130	MT	5.8	65.0	11.3
3	707135	T	6.0	237.8	39.6
3	701076	MT	6.8	242.2	35.7
3	703365	T	5.9	353.3	60.0
3	704606	MT	4.9	271.1	55.5
3	706172	T	10.7	564.4	52.9
3	705447	MT	11.6	247.5	21.3
3	704073	S	10.1	153.3	15.2
3	704161	S	4.9	145.0	29.7
3	706724	T	19.1	642.2	33.6
3	701707	MT	4.3	57.1	13.3
3	703413	S	10.6	282.2	26.7
3	706727	T	5.4	145.7	26.8
3	700174	S	19.1	380.0	19.9
3	706882	T	4.4	322.5	73.7
3	703651	T	6.0	77.1	12.9

3	704417	MT	10.8	251.1	23.3
3	703456	MT	13.4	847.5	63.4
3	705739	T	15.3	513.3	33.5
3	704591	T	3.5	76.7	21.9
3	703933	T	6.3	133.3	21.1
3	705613	T	5.9	356.7	60.6
3	705114	S	2.2	28.0	12.7
3	705009	S	5.9	300.0	51.1
3	707129	S	4.4	102.5	23.4
3	706676	MT	3.3	135.0	41.5
3	703610	S	6.4	375.0	58.8
3	705454	T	11.9	462.2	38.9
3	702870	MT	7.3	222.9	30.6
3	705445	MT	11.4	707.5	62.2

Donde T= tolerante, MT = Moderadamente tolerante, S = Susceptible. Reacciones obtenidas en condiciones de La Molina-CIP

Tabla 16.- Reacciones de 19 cultivares de papa sometidos a dos condiciones de estrés hídrico: Control (ST) considerado como sequía local y con techo de plástico transparente (CT) considerada como extrema sequia – impide el ingreso de precipitaciones hasta el Punto de Marchitez Permanente, desde el inicio de la tuberización (50% de floración de las plantas de papa) y durante la etapa de llenado de tubérculos, las variables utilizadas para el Análisis estadístico son Rendimiento (Rend) y Peso Promedio tubérculos (PromTubers) (Sequia 2013 Ccollanas-Maras, Cusco)

Obs	Cultivar NCIP	Condition	Rep	NP	NTT	PTT g	Rend g/planta	PromTubers g/tuber
1	707135	CT	r1	7	59	2062	294.57	34.95
2	703457	CT	r1	7	72	1312	187.43	18.22
3	706882	CT	r1	7	16	1114	159.14	69.62
4	704591	CT	r1	7	42	1488	212.57	35.43
5	703912	CT	r1	7	48	2078	296.86	43.29
6	703825	CT	r1	7	82	1598	228.29	19.49
7	705445	CT	r1	7	47	1188	169.71	25.28
8	704417	CT	r1	7	61	1402	200.29	22.98
9	707129	CT	r1	7	27	1490	212.86	55.19
10	703365	CT	r1	6	23	1954	325.67	84.96
11	706727	CT	r1	7	65	1322	188.86	20.34
12	706172	CT	r1	6	45	2366	394.33	52.58
13	704606	CT	r1	7	61	2848	406.86	46.69
14	701076	CT	r1	7	51	2032	290.29	39.84
15	703905	CT	r1	6	26	172	28.67	6.62
16	704434	CT	r1	7	35	1000	142.86	28.57
17	702870	CT	r1	6	28	858	143.00	30.64
18	705454	CT	r1	7	44	1842	263.14	41.86
19	703415	CT	r1	7	43	1534	219.14	35.67
20	704591	CT	r2	7	44	1628	232.57	37.00
21	707129	CT	r2	7	45	2206	315.14	49.02
22	705445	CT	r2	7	51	1802	257.43	35.33
23	704417	CT	r2	7	91	1562	223.14	17.16
24	702870	CT	r2	7	48	1340	191.43	27.92
25	703365	CT	r2	7	17	1166	166.57	68.59
26	701076	CT	r2	7	56	1512	216.00	27.00
27	703905	CT	r2	7	22	182	26.00	8.27
28	705454	CT	r2	7	45	1536	219.43	34.13
29	706882	CT	r2	7	7	774	110.57	110.57
30	703912	CT	r2	7	53	2084	297.71	39.32
31	703457	CT	r2	7	44	782	111.71	17.77
32	703415	CT	r2	6	81	2046	341.00	25.26
33	704434	CT	r2	7	29	1616	230.86	55.72
34	706727	CT	r2	6	81	2028	338.00	25.04
35	703825	CT	r2	7	76	1368	195.43	18.00

36	707135	CT	r2	7	52	1760	251.43	33.85
37	704606	CT	r2	7	40	1696	242.29	42.40
38	706172	CT	r2	7	39	1912	273.14	49.03
39	701076	ST	r1	7	47	1526	218.00	32.47
40	705454	ST	r1	7	37	1818	259.71	49.14
41	706172	ST	r1	7	38	1974	282.00	51.95
42	703415	ST	r1	7	73	2096	299.43	28.71
43	707135	ST	r1	7	62	2156	308.00	34.77
44	703457	ST	r1	7	59	1224	174.86	20.75
45	704606	ST	r1	7	43	1972	281.71	45.86
46	706727	ST	r1	7	57	2394	342.00	42.00
47	703825	ST	r1	7	59	1680	240.00	28.47
48	702870	ST	r1	7	55	2994	427.71	54.44
49	707129	ST	r1	7	41	2642	377.43	64.44
50	704434	ST	r1	7	23	1748	249.71	76.00
51	703905	ST	r1	7	60	580	82.86	9.67
52	703365	ST	r1	7	42	3812	544.57	90.76
53	703912	ST	r1	7	72	4322	617.43	60.03
54	706882	ST	r1	7	25	2492	356.00	99.68
55	705445	ST	r1	7	64	3180	454.29	49.69
56	704417	ST	r1	7	58	2068	295.43	35.66
57	704591	ST	r1	7	77	3336	476.57	43.32
58	704606	ST	r2	7	34	1402	200.29	41.24
59	703912	ST	r2	7	43	2394	342.00	55.67
60	707135	ST	r2	7	58	1710	244.29	29.48
61	706727	ST	r2	7	47	1702	243.14	36.21
62	703825	ST	r2	7	61	1516	216.57	24.85
63	704434	ST	r2	7	26	1172	167.43	45.08
64	707129	ST	r2	7	35	1800	257.14	51.43
65	706882	ST	r2	7	10	734	104.86	73.40
66	703415	ST	r2	7	89	1666	238.00	18.72
67	703457	ST	r2	7	56	916	130.86	16.36
68	704591	ST	r2	7	78	2696	385.14	34.56
69	704417	ST	r2	7	78	2154	307.71	27.62
70	705445	ST	r2	7	79	2542	363.14	32.18
71	705454	ST	r2	7	48	2482	354.57	51.71
72	702870	ST	r2	7	72	1932	276.00	26.83
73	706172	ST	r2	7	59	2664	380.57	45.15
74	703905	ST	r2	7	76	610	87.14	8.03
75	701076	ST	r2	7	76	3162	451.71	41.61
76	703365	ST	r2	7	36	3376	482.29	93.78

Tabla 17.- Rendimiento por planta en Cultivares de Papa, bajo condiciones de campo y sometidas a Extrema Sequía (Con Techo de plástico = CT), para evitar el ingreso de agua de las precipitaciones, sometidos desde el Inicio de la Tuberización (IT) hasta el Punto de Marchitez Permanente (PMP) o muerte de las plantas por Déficit Hídrico, realizado en la campaña 2012-2013 en Ccollanas-Maras, Cusco

Grupos	Cultivares	Rend x Planta	Codigo CVs	Calificacion (extrema sequia)	Seleccion Tolerancia CT, extrema sequia	Seleccion Farmers ST, sequia local
a	706172	333.7	50	AT	Y	B
a	704606	324.6	36	AT	Y	B
ab	703912	297.3	20	T	Y	MB
abc	703415	280.1	11	T	Y	B
abc	707135	273.0	56	T	Y	B
abcd	707129	264.0	55	MT	Y	B
abcd	706727	263.4	53	MT	Y	B
abcd	701076	253.1	4	MT	Y	B
abcd	703365	246.1	10	MT	Y	B
abcd	705454	241.3	44	MT	Y	B

abcd	704591	222.6	35	MT	Y	MB
abcd	705445	213.6	42	MT	Y	B
abcd	703825	211.8	17	MT	Y	
abcd	704417	211.7	31	MT	Y	B
bcd	704434	186.8	32	S		
bcd	702870	167.2	9	S		
cde	703457	149.6	13	S		
de	706882	134.9	54	S		
e	703905*	27.32	19	MS		

Calificaciones:

AT = Altamente Tolerante a Sequia, T = Tolerante a Sequia, MT = Moderadamente Tolerante a Sequia, S = Susceptible a Sequia, MS = Muy Susceptible a Sequia

*La parte foliar Tolero la Extrema Sequía como consecuencia de mayor emisión y profundización de raíces para búsqueda de humedad en el suelo, pero bajísima producción de tubérculos.

Seleccionados: CT = Con Techo hasta PMP y ST = Sin techo, ambiente local seco, < 500 mm pp

Y = Yes (14 cultivares), MB = Muy Bueno, B= Bueno

Figura 1.- PCA con todos los datos (promedios) de BI, BII yBIII del experimento para heladas de Taucca. Las variables: Peso Promedio Tubers (size), Rendimiento (rdto), Peso total tubers (Pttubers), estan altamente correlacionadas. Las variables: Materia Seca parte aérea (MSPA), Peso Seco parte radicular (PS_Parte_Radicular), Peso Seco parte aérea (PS_Parte_Aerea), también estan altamente correlacionadas. (Las variables que muestran flechas mas largas son la que mas contribuyen)

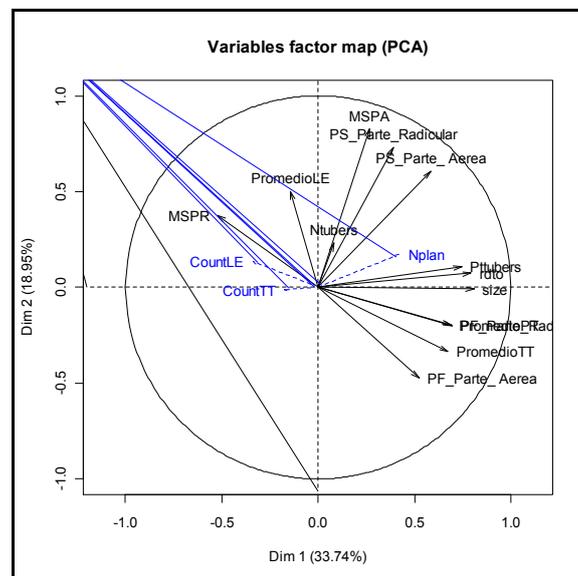


Figura 2.- Experimento en Ccollanas-Cusco para Sequía en papa, donde r1, r2,...= bloques o repeticiones, ST= sin techo, que fue el control, desarrollado en condición de sequia local, CT = con techo, que no permitio el ingreso de precipitaciones desde el 50% de la floración que coincide con el inicio de la tuberización, continuando durante la etapa de llenado de los tuberculos, hasta la muerte de las plantas después del Punto de Marchitez Permanente (PMP) o marchitez irreversible donde las plantas ya no pueden tomar agua del suelo, considerado como extrema sequia



Figura 3. Detalle del muestreo del suelo usando cilindros, cada 10 cm de profundidad, para determinar gravimetricamente el contenido de humedad del suelo en las zonas de proliferación radicular. (muestreo a los 16 días de instalado el techo de plástico (CT)).



Figura 4.- Contenido de Porciento de humedad del suelo a diferentes profundidades (entre 10 a 50 cm) determinados a los 16 y 48 días después de techado (CT) y el control (ST), note la gran diferencia en humedad entre 16 y 48 días para las dos condiciones de estrés hídrico.

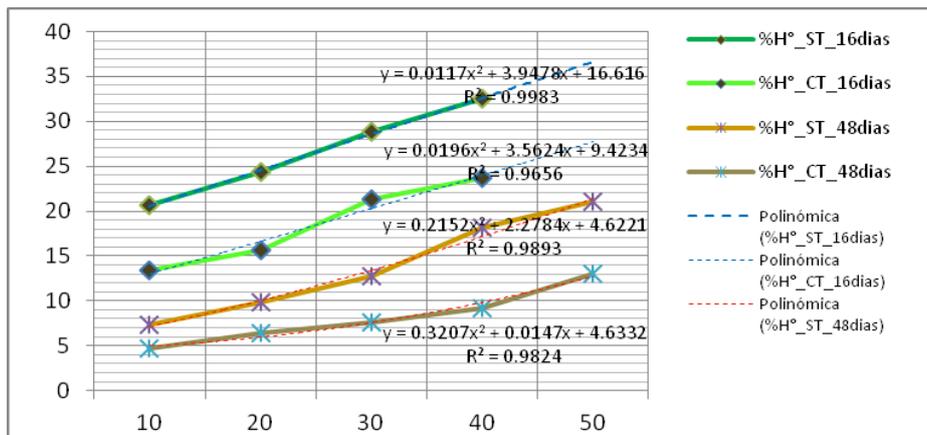


Figura 5.- Seguimiento de la tuberización cv 706727, a los 32 días bajo techo (CT), en extrema sequía.



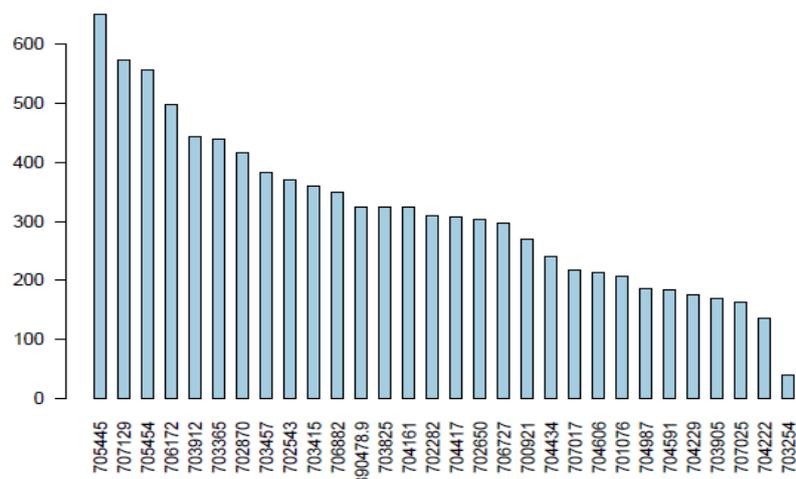
Figura 6. Estado de las plantas: senescentes en los bloques del Control (ST) o sequia local, y plantas secas en su mayoría después del PMP en extrema sequia (CT)



Figura 7. Detalle del estado seco de la planta de papa luego de PMP, excepto las bayas. También se observa el suelo cuarteado, claro indicativo del alto estrés hídrico.

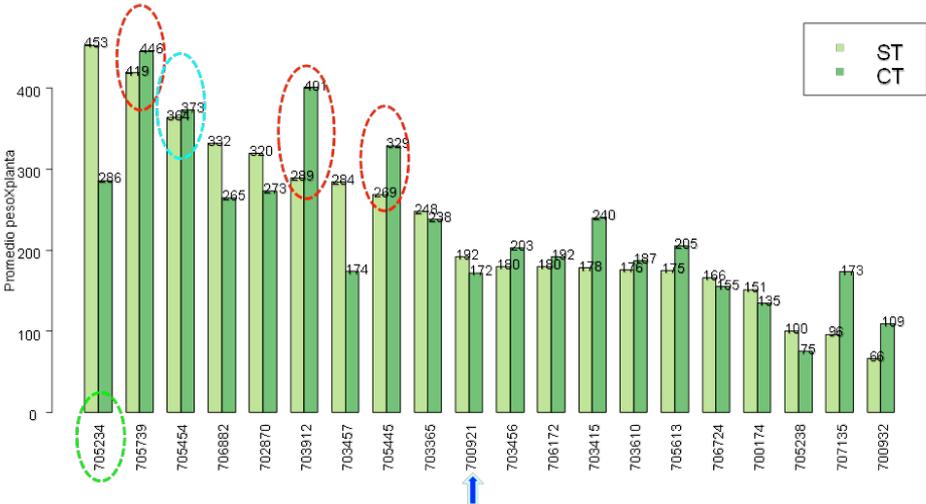


Figura 2a.- Histograma que muestra la variabilidad de los Rendimientos de tubérculos por planta de papa, sometidos a condiciones de heladas (las plantas fueron dañadas fuertemente por la extrema helada del 20 de Abril 2013, ocurrida a los 128 días desde la siembra, en plena etapa de llenado de tubérculos.



En este caso el control es el cv Q'ompis (700921), cuyos cvs que hayan logrado rendimientos por encima de este son seleccionados (17 cvs nativos tolerantes a heladas y con buen rendimiento en esas condiciones frías)

Figura 8.- Respuestas de los cultivares de papa nativa en condiciones secas de Ccollanas, Control (ST) o sequia local y extrema sequia (CT)



Las líneas entrecortadas rojas indican elasticidad morfológica por abundancia o mayor penetración radicular para buscar humedad en el suelo, cuando la respuesta en extrema sequia supera al control es un caso muy importante de tolerancia como el cv 703912, las líneas celeste indican la Tolerancia a sequia porque en ambas condiciones producen similarmente o traslocan sus reservas de la parte aérea hacia los tuberculos de forma rápida si estos mueren al llegar al PMP en condiciones de extrema sequia, la línea entrecortada verde señala al cv como el mas eficiente en el uso del agua. La flecha azul señala al cv control, los que superan en rendimiento deberán considerarse además de tolerantes como productivos.

Identificación y evaluación de cultivares de papa nativa con tolerancia a heladas en Bolivia

Eliseo Mamani¹⁷, Ronnie Mamani¹⁷, Giulia Baldinelli¹⁷, Bruno Condori¹⁷, Diego Chirino¹⁷, Milton Pinto¹⁷, Juana Flores¹⁷, Wilfredo Rojas¹⁸, Rhimer Gonzáles¹⁹, Jury Magne¹⁹, Ada Angulo¹⁹, Julio Gabriel¹⁹, Noel Ortuño¹⁹ y Ximena Cadima²⁰

Resumen

Con el propósito de identificar y evaluar variedades de papa locales con tolerancia a heladas se llevaron a cabo ensayos en el Altiplano Norte de La Paz (durante tres años consecutivos) y en la provincia Tiraque de Cochabamba (dos años consecutivos). En el primer año agrícola (2010-2011) en el Altiplano Norte de La Paz, en Cariquina Grande se evaluaron 12 variedades nativas locales con tolerancia a heladas y se seleccionaron los seis (Kusillo, Yurima, Qaqa surimana, Waycha, Chiyara k'awiri y Lucki) con mejor performance bajo el efecto de helada en dos épocas de siembra. En el segundo año (nuevamente en Cariquina) se evaluó este material seleccionado implementando la aplicación de bioinsumos para contrarrestar el efecto de la helada. Dos variedades: Yurima y Kusillo mostraron buena tolerancia al efecto de la helada en dos épocas de siembra. Los bioinsumos tuvieron un efecto favorable en el rendimiento de estas variedades solamente en la primera época de siembra. En el tercer año se evaluaron estas dos variedades conjuntamente con Janq'u Ajahuiri y Janqu Lucky en la comunidad de Coromata. Asimismo, se evaluó el efecto del uso de bioinsumo. Debido a la falta de ocurrencia de helada, se implementó el corte de follaje (0, 50% y 100% de corte) como efecto de simulación de helada. El bioinsumo aplicado tuvo un efecto favorable en la altura de planta y el área foliar y en el rendimiento de los tratamientos de corte. Los cortes del 50% y 100% tuvieron efecto negativo en el rendimiento simulando un efecto real de helada. Las variedades con mejor comportamiento bajo corte de follaje y buena recuperación bajo el efecto de bioinsumos fueron Janq'u Ajahuiri y Kusillo.

En el segundo año agrícola en Tiraque (Cochabamba) se evaluaron 15 variedades nativas (locales y del Norte de Potosí) con tolerancia a heladas. El ensayo se evaluó utilizando los cortes de follaje (0, 50% y 100% de corte) como efecto de simulación de heladas. Las variedades que destacaron por su tolerancia al corte de follaje fueron: Imilla Lunku, Puka Taca y Yana Sutamari. En el segundo año se evaluaron ocho de las 15 variedades (incluidas estas tres variedades) seleccionadas por su buena tolerancia heladas y sequía (se realizó un ensayo paralelo para tolerancia a sequía con las mismas 15 variedades). Se realizaron los tres niveles de corte de follaje conjuntamente con la aplicación de bioinsumo para contrarrestar el efecto del corte de follaje. Entre las variedades que destacaron por su tolerancia al corte de follaje están las mismas tres seleccionadas en el anterior ciclo conjuntamente con Sakampaya y Yana Qoyllu. El uso de bioinsumo solo tuvo un efecto favorable en el rendimiento de la variedad Yana Sutamari.

Introducción

En la actualidad el cultivo papa se constituye en uno de los más importantes productos de la economía y alimentación boliviana. Su cultivo se extiende a más de 125.000 ha y su producción anual oscila de 700.000 a 900.000 t con un rendimiento a nivel del país de 6.18 t/ha, de las cuales sobresalen las variedades Waych'a (*Solanum andigenum*) y Désirée (*Solanum tuberosum*). En Europa y Norte América, los rendimientos de papa alcanzan entre 20 y 30 t/ha (Hooker, 1982).

En los Andes de Bolivia, los agricultores aún conservan muchos cultivares nativos de las ocho especies conocidas, las mismas que son usadas para su alimentación y seguridad alimentaria. Sin embargo, poco se conoce acerca de los atributos de resistencia a los factores bióticos y abióticos que afectan a la papa y menos aun se han utilizado en los programas de mejora genética de papa en el mundo (Estrada, 2000).

Es claro que las variedades producidas comercialmente en Bolivia, son de bajo rendimiento, cultivados en nichos particulares, y afectados por diversos factores restrictivos importantes como por ejemplo el tizón (*Phytophthora infestans*), los nematodos (*Globodera* sp., y *Nacobbus aberrans*), la polilla (*Symmetrichema tangolias*), la sequía y las heladas (Gabriel, 2010).

¹⁷ Investigadores Fundación PROINPA-La Paz

¹⁸ Coordinador Regional Fundación PROINPA-La Paz

¹⁹ Investigadores Fundación PROINPA-Cochabamba

²⁰ Responsable del proyecto Fundación PROINPA

El factor clima es determinante en los procesos de producción agrícola, particularmente en el Altiplano, que está sujeto a fluctuaciones climáticas por la ubicación geográfica, por ende está sometido a sequedad de aire, efecto severo a heladas y granizadas, vientos, sequías e inundaciones (Hijmans *et al.* 2003).

La helada es un factor abiótico que restringe la producción de papa en las alturas de los Andes. La helada ocurre cuando sucede una temperatura igual o menor a 0 °C a un nivel cercano sobre el nivel del suelo (Artunduaga 1982 y Torrez 1995) durante un tiempo de dos a cuatro horas (Condori, 2009). La helada podría definirse desde el punto de vista agro meteorológico como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño; sin embargo, la severidad del daño depende además de otros factores, como ser: el estado de desarrollo vegetativo y tipo de cultivo, condiciones del suelo y duración de la heladas entre otros; por tanto, es difícil establecer la temperatura crítica para cada cultivo.

En Agroclimatología se distinguen heladas por advección y por radiación. Las heladas por advección ocurren por la invasión de aire frío durante el día o la noche y están acompañadas por vientos. Las heladas por radiación, típicas de las regiones tropicales, se originan por la pérdida de calor que sufren las plantas y el suelo, durante la noche, a través del proceso de radiación; este tipo de helada es favorecida por algunas condiciones locales como viento en calma, cielo despejado y baja humedad atmosférica (Dominguez 2010).

Las heladas por radiación se subdividen en heladas blancas y negras. Cuando la temperatura desciende por debajo de cero y la humedad relativa es alta, el rocío depositado en las hojas de los cultivos pasa a formar cristales de hielo y da lugar a la escarcha, produciéndose lo que se denomina helada blanca. En el caso de las heladas blancas en las que ha ocurrido formación de hielo, este tiene un efecto favorable al ceder a la planta el calor latente de fusión en el cambio de estado de agua a hielo, ochenta calorías por gramo. En cambio, cuando se produce una helada negra, los vegetales afectados muestran un ennegrecimiento de los órganos afectados. En este tipo de helada, la humedad atmosférica es baja y el agua alcanza cero grados centígrados, antes de que se haya formado el rocío. Este tipo de helada es muy frecuente en las zonas productoras de papa de Bolivia.

El daño por heladas es un importante problema en la producción de papa en latitudes altas y en áreas de latitudes bajas. En el altiplano boliviano el máximo periodo sin riesgo de heladas es de 20 días. El ciclo de la papa, después de la emergencia es de 135 días, este cultivo tiene, en esta estación, una probabilidad de más del 30 % de que su desarrollo sea interrumpido por una helada (Le Tacon *et al.* 1991).

Las pérdidas por las heladas en los Andes (-3 °C a -4 °C) causan una reducción estimada de la producción anual de 30% en promedio (PROINPA, 1996 y 2009; Estrada 2000). El principal daño ocurre por el necrosamiento del follaje, lo que origina una reducción del área fotosintética y retraso en el crecimiento de los tubérculos. Los daños por congelación en tubérculos de papa pueden que no sean evidentes externamente, pero se muestran manchas grisáceas o gris-azuláceas debajo de la piel (Snyder y Melo-Abreu 2010). Asimismo, los tubérculos descongelados se vuelven blandos. Se ha admitido, para la variedad Sani Imilla (variedad muy divulgada en el Altiplano) una destrucción de la planta a -3°C, durante el crecimiento vegetativo hasta la floración y a -2 °C después de la floración (Le Tacon *et al.* 1991).

La principal causa en la naturaleza del daño por helada a las plantas es la formación de hielo extracelular, que produce un estrés de agua secundario a las células adyacentes. De hecho, hay una estrecha relación entre las plantas tolerantes a la sequía y las plantas tolerantes a la congelación (Snyder y Melo-Abreu 2010).

El efecto de las heladas depende de la etapa fenológica, del nivel de temperatura mínima que alcanzan los tejidos durante el fenómeno, del grado de crecimiento y del período de tiempo que las plantas estén sometidas a las bajas temperaturas (Carrillo *et al.*, 1993); también de la pre adaptación de las plantas y la tasa de caída de temperatura (Lyons *et al.*, 1979).

La temperatura de la hoja es el resultado del balance de energía con su ambiente (Ksenzhek y Volkov, 1998), por lo que en la noche el follaje es importante para captar energía emitida por el suelo y otros cuerpos que la rodean y la tasa de enfriamiento. La influencia de la cobertura vegetal para reducir el efecto de helada se ha evaluado en otros cultivos.

La gran diversidad de especies de papa en los Andes, es la clave del éxito en la obtención de nuevas variedades mejor adaptadas a los múltiples desafíos del cambio climático. Esta adaptación tiene que ver con atributos agronómicos y mecanismos fisiológicos que expresa la planta, para tolerar diferentes tipos de estrés, entre ellos el estrés por temperatura (PROINPA, 2007). Se ha evidenciado la existencia de valiosas fuentes de tolerancia a heladas en especies cultivadas de papa de *S. andigena*, *S. stenotomum*, *S. ajanhuiri*, *S. x curtilobum* y *S x juzcepezukii* (Gabriel *et al.*, 1998; Ochoa, 2001). Estrada (2000) menciona que hay al menos unas 15

especies silvestres de papa resistentes en los Andes que toleran bajas temperaturas de -5 °C hasta -7 °C por 2 a 3 horas y se pueden cruzar con las especies cultivadas diploides. Durante más de 20 años utilizó varias de estas especies en cruzamientos con unos 35 cultivares de *S. phureja* y *S. stenotomum* en trabajos efectuados en el CIP (Perú), en el ICA (Colombia) y en PROINPA (Bolivia).

La resistencia a las heladas, se debe a factores morfológicos, tales como: hábito arrosetado de la planta, dos o más capas de palizada en el tejido parenquimatoso de las hojas, habilidad para soportar deshidratación celular, mantener la cohesión bajo la presión de congelación, entre otros (Hijmanset *al*, 2003).

Materiales y métodos.

Gestión 2010-2011

1. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas frente a los riesgos climáticos en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz

En la investigación se evaluaron 12 cultivares de papa nativa de las especies *Solanum andigena*, *S. x ajahuiri*, *S. stenotomum*, *S. phureja* y *S. x juzeczuckii*, la primera especie es representada por las variedades Waycha y Sacampaya, la segunda por Janq'u k'awiri y Chiyar Ajawiri, la siguiente por Kusillu, Yurima, Qaqa surimana, Chiyar phiñu, Runtu papa y Q'illu puya, la penúltima por Phureja y la última por la Lucki. Entre los materiales de campo se utilizaron guano de animales, yutes, balanzas, estacas, flexómetros, bolsas plásticas, cilindros, picotas, termómetros, GPS (Sistema de Posicionamiento Global), aro de 56 cm de diámetro, cuerdas y cámara digital.

En un taller bajo la participación de los miembros de la comunidad se procedió con la identificación de los cultivares nativos con cierto grado de rusticidad a efectos climáticos adversos como la helada. Esta información fue corroborada mediante el uso de planillas con encuesta dirigida a informantes clave.

Después de la identificación de cultivares nativos que presentan grados resistencia a heladas se realizó la recolección de la semilla de diferentes familias, hasta lograr la cantidad suficiente para los ensayos.

La implantación de los ensayos se realizó bajo el criterio de épocas de siembra donde la primera época sembrada el 4 de noviembre y la segunda época de siembra el 4 de diciembre, estos ensayos se llevaron a cabo en la comunidad de Cariquina Grande a 4167 msnm perteneciente al distrito Cariquina.

Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó un Diseño Bloques al Azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, donde se toma como factor A, las dos épocas de siembra y el factor B son las 12 variedades de papa. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \delta_j + \alpha\delta_{ij} + \varepsilon_{ijl}$$

Donde:

X_{ijkl} = Una Observación

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-esimo nivel del factor A

ε_{ik} = Error experimental de la parcela mayor (Ea)

δ_j = Efecto del j-esimo nivel del factor B

$\alpha\delta_{ij}$ = Efecto del i-esimo nivel del factor A, con el j-esimo nivel del factor B (Interacción AxB)

ε_{ijl} = Error experimental de la parcela menor (Eb)

Los factores de estudio fueron los siguientes:

Factor A: Épocas de siembra para la evaluación de helada

a1: Primera siembra 4 de noviembre (acostumbrada)

a2: Segunda siembra 4 de diciembre (tardía)

Factor B: Variedades de papa

b1: Kusillu (*Solanum Stenotomum*), grupo varietal Khaty.

b2: Q'illu puya (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.

b3: Runtu papa (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty

b4: Qaqa surimana (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.

b5: Chiyara phiñu (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.

b6: Phureja (*Solanum phureja*), grupo varietal Khaty.

- b7: Janq'u Ajawiri (*Solanum x ajahuiri*), grupo varietal Khaty, sub grupo K'awiri.
- b8: Chiyar Ajawiri (*Solanum x ajahuiri*), grupo varietal Khaty, sub grupo K'awiri.
- b9: Yurima (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.
- b10: Sacampaya (*Solanum andigena*), grupo varietal Khaty.
- b11: Waych'a (*Solanum andigena*), grupo varietal Imillas.
- b12: Lucki (*Solanum x juzepczukii*), grupo varietal luckis.

La combinación de los diferentes tratamientos se presenta en la Tabla 1.

Gestion 2011-2012

2. Efecto de bioinsumos en la respuesta agronómica de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) para mitigar el efecto de las heladas en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz.

En la gestión 2011-2012 se evaluó el efecto de los bioinsumos para mitigar el efecto de las heladas en los materiales seleccionados en Cariquina Grande en la gestión 2010-2011.

El trabajo de investigación se realizó en la comunidad de Cariquina Grande, del municipio de Mocomoco de la provincia Camacho, distante a 208 km al noroeste de la ciudad de La Paz. Geográficamente situada a 15°31'52.67" de latitud Sur 69° 15'46.43" longitud Oeste y a una altitud promedio de 3900 m.

Se utilizaron seis cultivares de papa nativa: Kusillo, Yurima, Q'aqa y Surimana (corresponde a *S. stenotomum*), Chiyar Ajanhuiri (*S. ajanhuiri*), Waycha (*S. tuberosum* subsp. *andigena*) y Lucki (*S. juzepczukii*), que fueron escogidas para este estudio por su grado de tolerancia a las heladas. También se usaron biofertilizantes, tales como Fertisol y Vigortop (promotores de crecimiento) y un bioinsumo del suelo.

El ensayo se realizó bajo un diseño experimental de bloques al azar, con tres factores y tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron: Altura de planta, cobertura foliar, incidencia a helada, severidad de la helada y efecto de resiliencia (capacidad de recuperación). Asimismo se registró información climática: temperatura y precipitación utilizando un termómetro de mínimo y máximo, un pluviómetro y una estación meteorológica.

La parcela fue dividida en dos partes (primera y segunda época) y éstas en bloques. La parcela establecida con las seis variedades de papa fue de 558 m² (cada unidad experimental de 5 surcos de 5 m, con distancia entre surcos 0.6 m y 0.25 m entre plantas). Todos los tratamientos fueron repetidos 3 veces. El ensayo fue sembrado el 13 de octubre de 2011 (primera época) y 6 de diciembre (segunda época).

El biofertilizante de suelo fue aplicado en el aporque y los promotores de crecimiento Fertisol y Vigortop, una vez presentado el daño por la helada.

La conducción general del cultivo fue la misma que practican los agricultores del lugar, a diferencia del control fitosanitario, al Gorgojo de los Andes (*Phenotripeslatitorax*) con Karate y la enfermedad de Alternaria o Tizón temprano (*Alternaria solani*) mediante Rancol y Ridomil.

3. Reacción de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al corte de follaje como simulación al efecto de heladas en la comunidad de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba).

En la gestión 2011-2012 se evaluó la reacción de 15 cultivares provenientes del Norte de Potosí (Potosí) y Colomi (Cochabamba) al corte de follaje como simulación de efecto de heladas en la comunidad de Waylla Pujru de la provincia de Tiraque (Cochabamba). Estos quince cultivares tienen antecedentes de buena performance bajo condiciones de helada en campos de agricultores.

La investigación se llevó cabo en la comunidad de Waylla Pujro municipio de Tiraque en Cochabamba, ubicada a 17° 20' 10" latitud sur y 65° 52' 15" longitud oeste a 3.309 msnm, con temperatura promedio de 13.5 °C.

La ocurrencia de heladas en la zona de Tiraque es irregular e impredecible. Por tanto, para garantizar el éxito del ensayo se procedió a simular el efecto del daño de necrosis y la consecutiva pérdida de follaje por heladas mediante el corte del follaje de las plantas (Fairlie y Ortega 1995).

El ensayo se implementó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas en franjas. La unidad experimental estuvo constituida por un surco de 1.5 m de largo por 0.7m de ancho con cinco plantas. Los tratamientos estuvieron conformados por la combinación de dos factores: quince variedades nativas (Tabla 2) y tres niveles de corte de follaje (0%, 50% y 100%). Las parcelas principales estuvieron constituidas por las variedades y los niveles de corte del follaje.

El ensayo se sembró en el mes de noviembre. Se realizó un aporque y deshierbe a los 45 días después de la siembra cuando las plantas tenían una altura de 25 a 30 cm. Se arrancaron las plantas con síntomas de virus. Los cortes se realizaron al inicio de la tuberización (75 días después de la cosecha). Primeramente se calcularon visualmente el 50% y 100% del follaje de la planta para cada variedad y se procedió a cortar con una tijera de podar. La cosecha se realizó una vez que las plantas llegaron a su madurez fisiológica y los tubérculos fijaron la piel.

Las variables de respuesta evaluadas fueron: la severidad o necrosis en porcentaje (al momento de la floración) tal como lo recomienda Choque *et al.* (2007), el número de tubérculos y el rendimiento.

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo al modelo estadístico planteado (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más tolerantes y los niveles de corte que ocasionaron mayor daño. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando el Proc Mixed de SAS (SAS, 2004).

Gestión 2012-2013

4. Evaluación de los efectos de la helada y del uso de Bioinsumos en cuatro variedades nativas de papa (*Solanum tuberosum*) en la comunidad Coromata Media del Municipio de Huarina (La Paz)

En la gestión 2012-2013 se procedió a evaluar en la comunidad de Coromata la respuesta al corte de follaje como efecto de simulación de helada de las dos mejores variedades evaluadas en Cariquina en la gestión 2011-2012 (Yurima y Kusillo) junto a las variedades locales Janq'u Ajahuiri y Janqu Lucky. Asimismo, nuevamente se evaluó el efecto del bioinsumo Vigortop que fue el que produjo el efecto más favorable en la recuperación de las plantas después del corte de follaje en la gestión anterior.

Este estudio se realizó en la comunidad Coromata Media que se encuentra ubicada en la Provincia Omasuyos del departamento de La Paz, a 75 km de la ciudad de La Paz. Esta comunidad se sitúa geográficamente a 16°08'49.6'' Latitud Sur, 68°32'87.3'' Longitud Oeste y a una altitud media de 3957 msnm. Tiene un suelo arcilloso, el clima es frío, en temporadas es semi seco y seco.

Para este estudio se utilizaron semillas de papas nativas facilitadas por la fundación PROINPA. Las variedades utilizadas fueron: Yurima (*Solanum stenotomum*), Janq'u Ajahuiri (*Solanum x ajanhuiri*), kusillo (*Solanum stenotomum*), y Janqu Lucky (*Solanum x juzepczukii*).

Este material genético fue establecido en campo bajo diseño experimental Parcelas Divididas en Bloque al Azar. Según la metodología planteada por Vicente (2004), el Factor A fueron las variedades de papa, el Factor B fueron la presencia y la no presencia de Vigortop y el Factor C fueron los niveles de corte de 0%, 50% y 100% debido a que no existió helada, como se esperaba.

La preparación del terreno se realizó en el mes de marzo utilizando para ello arado de disco y un tractor agrícola. Antes de la siembra se realizó la preparación de la semilla y el abonado de la parcela, se utilizaron 8 qq de estiércol bovino para la superficie de siembra, todo esto de acuerdo a recomendaciones técnicas de personal de PROINPA.

La siembra se realizó el 24 de octubre de 2012, inicialmente se realizó la apertura de surcos, se delimitaron los bloques y las unidades experimentales y posteriormente se realizó la distribución de semilla en cada unidad experimental de acuerdo al croquis previamente elaborado. Finalmente se realizó el tapado de los surcos. Tanto la apertura y tapado de los surcos se realizaron con una yunta proporcionada por agricultores de la comunidad. Las semillas de las cuatro variedades de papa nativa se distribuyeron al azar en 4 bloques y en 2 repeticiones, la primer repetición denominada 'Con Bioinsumos' y la segunda repetición 'Sin Bioinsumos'.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron aplicaciones de bioinsumos, aporques y controles fitosanitarios.

Siguiendo la recomendación de técnicos de la fundación PROINPA, se realizó la aplicación de Vigortop solo en la repetición 'Con bioinsumos' en la emergencia de plantas, antes del aporque, en la floración, un día después del corte, una semana después luego del corte y dos semanas después del corte. (Fig. 1). Se utilizó 1 litro de Vigortop por cada 10 litros de agua.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron 2 aporques con el propósito de proporcionar espacio para la tuberización y para eliminar las malezas y posibles plagas insectiles. Los aporques se realizaron con yunta proporcionada por los agricultores de la comunidad. Antes de realizar los aporques se realizó la aplicación de insecticida Karate en una proporción de 5 ml por cada 20 litros de agua esto con el propósito de reducir la población de plagas de la papa como el gorgojo de los andes.

Se tomaron también medidas preventivas en contra del ataque de plagas de la papa, una de ellas fue la excavación de zanjas alrededor de la parcela, las cuales se rellenaron con nylon transparente para capturar adultos de gorgojo de los andes y de esta forma evitar migraciones de la plaga hacia otras parcelas vecinas (Fig. 1).

La cosecha de las cuatro variedades de papa se realizó del 15 al 20 de abril. Las plantas de cada unidad experimental fueron cosechadas una por una sobre lonas de yute con el cuidado de no dejar ningún tubérculo en el surco. Se realizó la cuantificación de tubérculos por planta, y peso de tubérculos de cada variedad. Posteriormente, procedió con el almacenado de los tubérculos para la siguiente campaña agrícola.

En este estudio se evaluaron las siguientes variables: **Altura de planta**, se midió el desarrollo de las plantas cada 15 días hasta que alcanzaron su altura máxima en la floración; **Area foliar** ocupada en la floración; **Largo de foliolos**, para obtener información del desarrollo máximo de los foliolos y diferenciarlas entre especies; **Número de botones florales**, se registró la cantidad de botones florales de cada planta seleccionada por variedad; **Número de tubérculos por planta**, se registró la cantidad de tubérculos de cada planta, en cada unidad y en cada repetición para diferenciar el rendimiento de las variedades; **Peso de tubérculos por planta**, se registró el peso total de tubérculos cosechados por planta, en cada unidad experimental. Asimismo, se registró el Efecto de corte 0%, 50% y 100 % para simular daño por helada.

Luego del registro de datos en campo, se elaboró una matriz Excel de cada variable y en base a ella se procedió análisis estadístico correspondiente que incluyó el cálculo de los Análisis de Varianza para cada variable y posteriormente se aplicó la Comparación de medias Duncan, estos análisis se realizaron con el programa estadístico SAS. Posteriormente con los resultados obtenidos se elaboraron cuadros y gráficas para explicar el comportamiento de las variedades en el ensayo.

5. Reacción de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al corte de follaje como simulación al efecto de heladas y la aplicación de bioinsumos en la comunidad de Waylla Pujru Tiraque (Cochabamba)

En la gestión 2012-2013 se llevó a cabo la presente investigación en la comunidad de Waylla Pujru de la provincia Tiraque donde se evaluaron ocho de los 15 genotipos evaluados en la gestión 2011-2012. Estos ocho genotipos fueron seleccionados por su buena performance tanto bajo condiciones de helada como bajo sequía (ensayo implementado paralelamente al de helada en la gestión 2011-2012).

La ocurrencia de heladas en la zona de Tiraque es irregular e impredecible. Por tanto, para garantizar el éxito del ensayo se procedió a simular el efecto del daño de necrosis y la consecutiva pérdida de follaje por heladas mediante el corte del follaje de las plantas (Fairlie y Ortega 1995). En este segundo año de evaluación se evaluaron ocho de los 15 cultivares evaluados en la gestión 2011-2012. Entre estos ocho genotipos, cuatro se seleccionaron por su buena performance, dos por una performance regular y dos por una pobre performance frente al corte de follaje como efecto de simulación de helada en la gestión anterior.

El ensayo se implementó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones en arreglo de parcelas divididas en franjas. La unidad experimental estuvo constituida por un surco de 1.5 m de largo por 0.7m de ancho con cinco plantas. Los tratamientos estuvieron conformados por la combinación de tres factores: ocho variedades nativas (Tabla 3), tres niveles de corte de follaje (0%, 50% y 100%) y dos niveles de aplicación del bioinsumo Vigortop (0 y 1L/mochila) después de los cortes. Las parcelas principales estuvieron constituidas por los niveles de corte y los niveles de bioinsumo y las subparcelas por las variedades.

El ensayo se sembró en el mes de Noviembre. Se realizó un aporque y deshierbe a los 45 días después de la siembra cuando las plantas tenían una altura de 25 a 30 cm. Se arrancaron las plantas con síntomas de virus. Los cortes se realizaron al inicio de la tuberización (75 días después de la cosecha). Primeramente se calcularon visualmente el 50% y 100% del follaje de la planta para cada variedad y se procedió a cortar con una tijera de podar. El bioinsumo se empezó a aplicar a partir de una semana después de realizados los cortes a una dosis

de un litro por mochila de 20 litros y se aplicó en tres oportunidades. La cosecha se realizó una vez que las plantas llegaron a su madurez fisiológica y los tubérculos fijaron la piel.

Las variables de respuesta evaluadas fueron: número de tubérculos y rendimiento

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo al modelo estadístico planteado (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más tolerantes, los niveles de corte que ocasionaron mayor daño y el nivel de bioinsumo asociado con una mayor tolerancia. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando el Proc Mixed de SAS (SAS, 2008).

Resultados y discusión

Gestión 2010-2011

1. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas frente a los riesgos climáticos en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz

El Análisis de varianza efectuado para la variable cobertura foliar a los 127 días, señala que hubo diferencias altamente significativas para las épocas de siembra y las variedades, en tanto la interacción de época de siembra y variedades fue no significativa, sobre el coeficiente de variación se obtuvo de 12,69%.

La figura 2, muestra el comportamiento de las variedades con respecto a las épocas de siembra a los 127 días después de la siembra (DDS), donde resalta la variedad Yurima con 71,05% para la primera época, en tanto para la segunda época con 61,47% de cobertura.

Para determinar las diferencias entre las variedades se realizó la prueba de Duncan a un nivel de 5% (Fig. 2), en el mismo se observa que la variedad Yurima fue la que presentó la mayor cobertura foliar promedio (66.26%).

El Análisis de varianza, efectuado para la variable incidencia de helada, señala que hubo diferencias altamente significativas para las épocas de siembra, en tanto para las variedades y la interacción de época de siembra y variedades fue significativa, sobre el coeficiente de variación se obtuvo de 8,05%.

La figura 3, expone valores promedio del daño causado por cada variedad en la segunda época de siembra, donde ocurrió el 17 de abril del 2011, presentando una temperatura mínima de -4°C, con una temperatura máxima de 33°C, donde se observa que el registro de incidencia va de 81,33% hasta el 100% entre las distintas las variedades.

La Figura 3 muestra las diferencias en promedio de las variedades, donde resalta la menos afectada por helada las variedades Kusillu y Yurima, por otro lado las más afectadas son las variedades Runtu papa, Sacampaya, Waych'a y Phureja.

El análisis de varianza para la variable severidad de la helada, presentó diferencias altamente significativas para las épocas, variedades y la interacción, presentando un coeficiente de variación de 29,68%.

La figura 4, muestra el comportamiento de las variedades con respecto a la helada en daño de cobertura foliar afectada, donde muestra la más dañada a la variedad Sacampaya con el 95,80%, Phureja con 91,50% y Runtu papa con 73,68, esto dentro de toda su cobertura presentada hasta la última lectura, en tanto las variedades con menos daño por helada en su cobertura fueron las variedades Kusillu con el 15,69%, Yurima con el 19,71%, Qaqa surimana con el 20,79% y Chiyar Ajawiri con el 23,3%.

Para la prueba de significancia Duncan que se muestra en la Figura 4, indica a la variedad Kusillu como la menos afectada después de la Lucki, por el otro lado la Sacampaya y Phureja fueron las más afectadas en su cobertura. Sin embargo se toma a los promedio de necrosis de la segunda época.

El análisis de varianza, efectuado para el rendimiento, mostró que hubo diferencias altamente significativas entre épocas y variedades, bajo un coeficiente de variación de 23,37%

a

La figura 5, muestra el comportamiento de la variable rendimiento, en el que resalta la variedad Waych'a, en la primera época, sin embargo el que muestra rendimientos promedios entre épocas en las distintas variedades, en el que se destacaron en la primera época de siembra la variedades Waych'a con 19,04 t/ha, Lucki con 15,06 t/ha, Sacampaya con 14,17 t/ha, Janq'u K'awiri con 14,02 t/ha, Qaqa surimana con 12,45 t/ha, Yurima con 12,29 t/ha y Phureja con 12,17 t/ha.

Para el rendimiento promedio de la segunda época se observó que la variedad Waych'a tuvo el rendimiento más alto con 10,66 t/ha, en tanto la variedad Lucki fue desplazada por la variedades Yurima con 10,11 t/ha y Q'illu puya con 9,11 t/ha en tanto la variedad Lucki obtuvo un rendimiento de 8,22 t/ha.

Al respecto la prueba de significancia de Duncan, muestra en la Figura 5 las diferencias de medias entre las distintas variedades.

Según la comparación de cobertura foliar entre especies en la primera época de siembra en condiciones optimas de cultivo, muestra diferencias entre variedades donde resaltan las variedades Yurima, Kusillu, Runtu papa (*S. stenotomum*), Janq'u K'awiri y Chiyara Ajawiri (*S. ajahuri*) y Waycha (*S. andigena*), esto a los 127 DDS, por otro lado la otra variedad que tiene la cobertura más baja es la variedad Sacampaya (*S. andigena*).

En relación a la segunda época de siembra es evidente que se muestra el mismo comportamiento de las variedades Yurima y Waycha, con la diferencia que existe una reducción en la cobertura foliar, y llegan a similitud de cobertura en las restantes variedades.

Con lo referente a las diferencias de las variedades con relación a las épocas de siembra a los 127 días, se aprecia que las variedades Waych'a y Yurima llegan a similar cobertura en ese periodo, las que llegarían a un nivel de 2,12 y 9,58 % respectivamente, por otra parte en las variedades Qaqa surimana, Chiyara phiñu, Sacampaya, Lucki, Kusillu, Runtu papa, Q'illu puya, Phureja, Janq'u K'awiri y Chiyara K'awiri tienen una diferencia mayor a 24%.

Según Iriarte (2009), las variedades tolerantes a factores de helada son las Luckis y algunas Khatys, lo que se vio en el ensayo en la segunda época de siembra, donde se puede observar que todas las variedades son afectadas, de hecho se aprecia que la variedad Kusillu, es la variedad que sale menos afectadas por helada alcanzando un 81,33% de incidencia en su población en promedio, y que esta por debajo de la variedad Lucki que presenta una incidencia del 92,67%, otra variedades interesantes son las variedades Yurima, Qaqa surimana y Chiyara phiñu que alcanzan a una incidencia de 81,33%; 89,33%; 93,33% 94,67% de incidencia. Las más afectadas son Q'illu puya, Runtu papa, Phureja, Sacampaya y Waycha con el 100% de incidencia.

Choque *et al.* (2007) reportaron a *S. juzecpezukii* y *S. Ajahuri* como las especies que presentaron menos necrosis por helada en su cobertura, sin embargo en nuestro ensayo se ve que resalta la variedad Kusillu con un menor necrosado en su cobertura (15,69%) conjuntamente con la variedad Lucki que presento un necrosamiento de 15,55%, otras variedades que alcanzan un menor porcentaje de necrosis son las variedades Yurima, Qaqa surimana, Chiyara K'awiri y Chiyara phiñu, con porcentajes de daño foliar de 19,71%; 20,79%; 23,3% y 26,71% respectivamente. Las variedades más susceptibles son las variedades Sacampaya con el 95% de necrosis, Phureja con un porcentaje de necrosis de 91,5% y Runtu papa con 73,68% de necrosis.

En un ensayo para resistencia a heladas, *S. juzecpezukii* presento un rendimiento de 9,8t/ha (Choque *et al.*, 2007), sin embargo en nuestro ensayo, la variedad que presenta mayor rendimiento en la primera época de siembra es Waycha con 19,04 t/ha, seguida de Lucki (15,06 t/ha), entre otras variedades interesantes se tiene a Sacampaya y Janq'u Ajawiri (14,17 y 14,02 t/ha respectivamente). En tanto para la segunda época, la variedad con mayor rendimiento también fue Waycha con 10,66 t/ha, Yurima se aproximó con 10,11t/ha, seguida de Q'illu puya con 9,11 t/h. Las variedades que presentaron menor diferencia entre épocas fueron Q'illu puya, Runtu papa y Yurima, por el otro lado el que presenta diferencia son las variedades Waycha, Qaqa surimana, Sacampaya, Kusillu, Phureja y Lucki.

Gestión 2011-2012

2. Efecto de bioinsumos en la respuesta agronómica de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) para mitigar el efecto de las heladas en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz

Las heladas se presentaron en fechas 1 de diciembre de 2011 y 28 de abril de 2012 al descender la temperatura hasta -3 °C y -4 °C respectivamente, al amanecer. El análisis de varianza para incidencia de las heladas (Tabla 4) mostró que existen diferencias altamente significativas entre épocas, lo que indica que el porcentaje incidencia de helada difiere entre épocas de siembra. Se encontró también la diferencia altamente significativa entre

variedades, que muestra diferencias entre variedades en la resistencia y/o tolerancia a la helada. La aplicación de biofertilizantes a su vez difiere en la incidencia de la helada.

La comparación de medias de incidencia de la helada (Fig. 6), muestra a la variedad testigo Waycha (*S. tuberosum* ssp *andigena*) estadísticamente superior al resto de las variedades. La variedad Q'aa Surimana (*S. stenotomum*) mostró un promedio de 29.1% de incidencia, seguido de Kusillo (*S. stenotomum*) que mostró 27.5% de incidencia, mientras que las variedades Yurima (*S. stenotomum*) y ChiyarAjawiri (*S. ajanhuiri*) mostraron incidencia de 24.6 y 24.2 % respectivamente, y en el testigo Lucki (*S. x juzepczukii*) se registro 20.8% de incidencia por helada. Según los resultados se observa, que las variedades Yurima y Chiyar Ajawiri son tolerantes a la helada, ambos tuvieron valores de incidencia próximos al testigo Lucki.

A nivel de biofertilizantes existen diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$), plantas aplicadas con biofertilizante de suelo y promotores de crecimiento (Fertisol y Vigortop), muestran menor incidencia de la helada en relación a las plantas sin aplicación. Y la interacción Época con biofertilizantes también muestra diferencias altamente significativas frente a la incidencia de helada, explicando que la segunda época de siembra tuvo mayor incidencia que la primera época.

El análisis de varianza para el porcentaje de severidad por efecto de la helada (Tabla), mostró diferencias altamente significativas entre épocas, esto se explica por la mayor incidencia de la helada en la segunda época en relación a la primera. También se mostró diferencias altamente significativas entre variedades esto indica que al menos una variedad es diferente de las otras a la respuesta en tolerancia a heladas, la media fue de 10.7% de severidad en follaje y el coeficiente de variación fue de 30%. La aplicación de biofertilizantes también muestra diferencias altamente significativas. Esto a la presencia de las heladas los días 1 de diciembre de 2011 y 28 de abril de 2012, con temperaturas mínimas registradas de -3 °C y -4 °C respectivamente.

La comparación de medias de severidad (daño)(Fig. 7), mostró que la variedad testigo Waycha (*S. tuberosum* ssp *andigena*) presentó mayor porcentaje de severidad (14.25%), seguidos de Q'aa Surimana y Kusillo (*S. stenotomum*) que tuvieron (11.83 y 11.17%) estadísticamente diferentes, mientras las variedades Chiyar Ajawiri y Yurima mostraron 9.83 y 9.67%de severidad, respectivamente, ambas estadísticamente iguales, y la variedad testigo Luki (*S. x juzepczukii*) mostró el menor porcentaje de severidad (7.83%). Al respecto Choque *et al.* (2007), en el estudio de resistencia a la helada del germoplasma de papa nativa de Bolivia, muestran el porcentaje de necrosis en el follaje de la especie *S. andigena* con el mayor daño (23,12%), seguida por *S. stenotomum* con 15,54% de daño en follaje y *S. x juzepczukii* con 1,43% de necrosis. Lo que demuestra que las variedades Yurima y Chiyar Ajawiri tienen características de tolerancia a la helada similar al Lucki que pertenece a *S. x juzepczukii*, conocida como la especie cultivada más tolerante a la helada.

En análisis de varianza efectuado para la resiliencia (recuperación o rebrote) del follaje mostró que existen diferencias altamente significativas entre épocas ($p < 0,01$). Las plantas dañadas en la primera época lograron en diferente grado la resiliencia, mientras en la segunda época, las plantas lograron muy poca resiliencia debido a las constantes heladas invernales, que terminaron matando las plantas, por más que se aplicaron biofertilizantes de crecimiento.

A su vez el análisis de varianza (tabla 6) refleja diferencias significativas de resiliencia para variedades, que muestra la existencia de variedades con mayor y menor resiliencia, siendo la media de 11,3% con un coeficiente de varianza de 29,37 %.

En la comparación de medias (Fig. 8), se observa valores promedios, que muestra a la variedad Yurima con mayor porcentaje de resiliencia (17.42), seguidos de Q'aa Surimana y Chiyar Ajawiri (12.58 y 12.25% de resiliencia, respectivamente) que estadísticamente son iguales, y las variedades Lucki, Kusillo y Waycha mostraron menor porcentaje de resiliencia (9.25, 8.08 y 8.08%, respectivamente), estas son iguales estadísticamente.

El análisis de varianza para el rendimiento (Tabla), mostró diferencias altamente significativas entre épocas de siembra, esto indica que una de las épocas muestra mayor rendimiento a la otra. Asimismo mostró diferencias significativas entre variedades que muestra al menos una variedad es diferente a las demás en el rendimiento siendo la media de 10.2 t/ha y el coeficiente de variación es 26.12%.

En la comparación de medias para rendimiento (Fig. 9), se observó que la variedad Yurima (*S. stenotomum*) tuvo el más alto rendimiento (14.24 t/ha) estatísticamente igual a Waycha (*S. tuberosum* ssp *andigena*) que tuvo (13.72 t/ha), mientras las otras variedades obtuvieron menores rendimientos iguales estadísticamente Chiyar Ajawiri (8.88 t/ha), Kusillo (8.53 t/ha), Lucki (8.36 t/ha) y Q'aa Surimana (7.45 t/ha). Al respecto, Carrillo

(1998) en una evaluación de calibración del modelo lintul para describir el efecto de las heladas sobre el rendimiento de cultivo de papa, encontró que la especie *S. x juzepczukii* tuvo un rendimiento de 6 t/ha.

La primera época mostró mayor rendimiento en promedio (15.82 t/ha) en relación a la segunda época (4.56 t/ha). Las variedades en ambas épocas también mostraron rendimientos diferentes (Fig. 10), la variedad Waycha tuvo mayor rendimiento en primer época, seguido de Yurima, sin embargo en la segunda época ambas variedades tuvieron un rendimiento bajo al igual que las otras variedades. Los bajos rendimientos en la segunda época son atribuibles a las persistentes heladas que causaron daños a las plantas hasta que mueran en plena floración, a pesar de un alto grado de tolerancia que mostraron algunas variedades.

La figura 10, muestra diferencias en rendimiento con y sin la aplicación de biofertilizantes. En la primera época la mayoría de las variedades muestran mayores rendimientos gracias a la aplicación de bioinsumos, a excepción de Q'aa Surima y Lucki, que tienen mejores rendimientos sin la aplicación de bioinsumos. En cambio en la segunda época se observa que Q'aa Surimana y Waycha tienen mejores rendimientos con la aplicación de biofertilizantes, mientras Yurima, Lucki, Chiyar Ajawiri y Kusillu muestran mejores rendimientos sin la aplicación de biofertilizantes.

La figura 11 se presenta la temperatura máxima y mínima durante el desarrollo del cultivo de la papa. La temperatura mínima evidencia la presencia de la primera helada el 1 de diciembre de 2011 al descender la temperatura hasta -3°C, causando de esta manera daño a las plantas de la primera época, durante la fase de botón floral. La segunda helada se presentó el 28 de abril de 2012, al descender la temperatura a -4°C, teniendo efecto en las plantas de segunda época, durante la fase floración. A partir de 28 de abril, las temperaturas mínimas fueron inferiores a 0°C, causando daño a las plantas en forma recurrente hasta que mueran.

Yurima, Chiyar Ajawiri y Lucki han mostrado un alto grado de tolerancia al efecto de las heladas. La variedad Lucki que pertenece a la especie *S. x juzepczukii*, fue utilizada como testigo para comparar con las otras variedades, por su alto grado de tolerancia conocido, por el contrario Waycha fue el referente de susceptible que corresponde a la especie (*S. tuberosum* ssp. *andigena*). La variedad Yurima pertenece a la especie *S. stenotomun*, y Chiyar Ajawiri a *S. ajanhuiri*, a estas especies se las considera dulce y semidulce, respectivamente. Esto hace que sean una alternativa de producción frente a la helada.

Por otra parte Estrada (2000), indica que los clones con alta resistencia en el follaje generalmente son de bajo rendimiento, pues usan toda su reserva metabólica en la defensa del follaje y deja muy poca reserva para la tuberización. Es el caso de Chiyar Ajawiri que mostró bajo rendimiento pero si tolerancia a la helada, mientras la variedad Yurima, tuvo mayor rendimiento al igual que la Waycha, y también mostró alto grado de tolerancia, estas características hacen que Yurima sea una variedades alternativa para la producción en zonas de alto índice de heladas.

3. Reacción de cultivares nativos de papa (*solanum tuberosum* L.) al corte de follaje como simulación al efecto de heladas en la comunidad de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba)

La evaluación de severidad por helada (Fig. 12) mostró que el cultivar Luky fue la que menos severidad o necrosis mostró, indicando esto que sería la más resistente al efecto directo de heladas sobre el follaje de la planta.

La comparación entre la severidad por helada con número de tubérculos y rendimiento (Fig. 13 y 14), mostró que no hubo una regresión lineal en ambos casos, sugiriendo que la severidad por helada no guardan ninguna relación con el número de tubérculos y rendimiento.

El análisis de varianza para las variables rendimiento y número de tubérculos mostró que existen diferencias significativas ($Pr < 0.01$) entre niveles de corte para número de tubérculos y rendimiento (Tabla).

El nivel de corte con el que se obtuvo el menor número de tubérculos fue el de 100% de corte (Fig. 15).

Por otra parte, el nivel de corte del 50% no causó reducciones significativas en el número de tubérculos. Esto significa que el número de tubérculos tendría tolerancia en estos cultivares nativos a este nivel de pérdida de follaje. En cambio, se observó que ambos niveles de corte causaron una reducción significativa en el rendimiento (Fig. 16).

El análisis de varianza para las variables rendimiento y número de tubérculos mostró que existen diferencias significativas ($P < 0.01$) entre cultivares para número de tubérculos y rendimiento (Tabla). Si existió interacción variedad*corte para rendimiento ($P < 0.01$) y también para número de tubérculos ($P < 0.01$), esto significa que el efecto que tuvieron los cortes fue diferente para cada variedad.

El cultivar Imilla Lunku presentó un número superior a trece de los genotipos para el 50% de corte de follaje (Fig. 17) y a 11 para el 100% de corte (Fig. 18). De este modo se consideró a este cultivar como el que presentó mayor número de tubérculos bajo ambos niveles de corte de follaje.

Para el nivel de 50% de corte, los rendimientos de Waych'a e Imilla Lunku fueron superiores al resto de los cultivares (Fig. 19).

Para el 100% del corte de follaje, el rendimiento de Waych'a fue superior al de 12 de los genotipos (Fig. 20). Esto significa que la variedad Waych'a alcanza mayores rendimientos bajo pérdida de follaje que las variedades nativas. Entre las nativas, Imilla Lunku mostró los mejores rendimientos bajo pérdida de follaje. La variedad con menores rendimientos bajo pérdida de follaje en ambos cortes fue Yana Ajanhuiri (Fig. 19 y 20).

La pérdida en número de tubérculos se obtiene cuando se compara el número de tubérculos bajo cortes de follaje con aquel obtenido cuando no existió pérdida de follaje (Fig. 21). El cultivar Zapallo sufrió la mayor reducción en el número de tubérculos con respecto al testigo (0% de corte). Por otra parte, los cultivares Waych'a, Puka Qoyllu, Candelero, Pinta Boca, Yana Ajanhuiri, Huaycho Qoyllu y Désirée no registraron reducciones significativas con respecto al testigo. Sin embargo, cuando se comparó el número de tubérculos de los cultivares en condiciones normales (0 % de corte) (Fig. 23) se observó que estos últimos cultivares son de baja performance. Por tanto, no podrían considerarse tolerantes ya que no registraron reducciones significativas porque su número de tubérculos potencial no era alto. Por otra parte, podría considerarse a Waych'a como tolerante ya que presentó alto número de tubérculos potencial y no sufrió reducciones significativas bajo pérdida de follaje. Entre las nativas, la que fue más tolerante a la pérdida de follaje fue la variedad Imilla Lunku. Las más sensibles, es decir aquellas que perdieron la mayor cantidad de número de tubérculos fueron Kellu Zapallo, Puka Sutamari y Sani Imilla (Fig. 21).

Para pérdida de rendimiento (Fig. 22) se observó que los cultivares que no sufrieron pérdidas significativas son aquellas que presentaron los menores rendimientos potenciales (Fig. 24). Los cultivares Waych'a e Imilla Lunku nuevamente se posicionan como las más tolerantes y Sani Imilla y Puka Taca como las más sensibles a la pérdida de follaje (Fig. 22).

La comparación entre la severidad por helada con número de tubérculos y con rendimiento, mostró que no hubo una regresión lineal en ambos casos, sugiriendo que la severidad por helada no guardan ninguna relación con el número de tubérculos y rendimiento, dado que la severidad es una medida de la resistencia, y el rendimiento y sus componentes son medidas de la recuperación después del estrés, sería oportuno pensar que la resistencia a heladas probablemente no comparten genes en común con la recuperación, por tanto, lo más recomendable sería seleccionar cultivares resistentes tanto al efecto directo de helada como cultivares que tengan una buena capacidad de recuperación.

Los cortes de follaje para simular heladas mostraron una mayor sensibilidad en el peso que en el número de los tubérculos cuando hubo pérdida de follaje. Esto podría ser debido a que los cortes se hicieron en el inicio de la tuberización (momento en que los tubérculos empezaban a crecer), por ello se vio más afectado el peso que el número. Asimismo se observó que el corte de follaje en los cultivares nativos originó una alta correlación entre el rendimiento con el número de tubérculos ($r^2=0.65$). Esto significa que cuando existe pérdida de follaje en estos cultivares nativos el rendimiento está basado en el número de los tubérculos y no en el peso de los mismos.

Gestión 2012-2013

4. Evaluación de los efectos de la helada y del uso de Bioinsumos en 4 variedades nativas de papa (*Solanum tuberosum*) en la comunidad Coromata Media del Municipio de Huarina (La Paz)

La altura de planta fue registrada cada 15 días, desde la emergencia de plantas ocurrida en diciembre, hasta febrero cuando las plantas mostraron su máximo desarrollo foliar, posteriormente se realizaron los cortes para simular daños por heladas. La Figura 25, muestra los resultados del registro de la altura de planta de las 4 variedades en el ensayo 'Con Bioinsumos'.

Se observó que la altura máxima de planta osciló entre 23 a 32 cm en las variedades Lucky y Kusillo, respectivamente (Fig. 25) luego de 3 meses de desarrollo en campo, estos valores fueron resultado de la expresión genética de cada variedad asociada a los efectos de la aplicación del biofertilizante foliar VIGORTOP.

Según la Figura 26, la altura de planta en variedades de papa nativa que no fueron tratadas con Vigortop fluctuaron entre 21 a 30 cm. La variedad Lucky fue la que registro menor altura de planta (21 cm) en cambio la variedad Yurima tuvo las plantas más altas (30 cm) seguida de la variedad Kusillo con 28 cm de altura de planta. Si comparamos los valores de las Figuras 25 y 26, se advierte una ligera diferencia de altura de planta de 2 cm entre las plantas de papa nativa tratadas con bioinsumo, respecto a las que no fueron tratadas con bioinsumo.

La tabla 9 muestra los resultados del análisis estadístico realizado a la variable Altura de planta, usando el programa estadístico SAS. Es importante mencionar que esta variable se registró en etapa de prefloración y antes de realizar el corte de simulación de heladas.

Según los resultados de la tabla 9, no existieron diferencias significativas en la altura de planta entre los bloques ni con los tratamientos “Con Bioinsumos” y “Sin Bioinsumos”. Sin embargo, si existieron diferencias significativas en el crecimiento de cada variedad y en la interacción tratamientos – Variedad), existió efecto combinado, el crecimiento de cada variedad fue diferente.

La variedad Kusillo es la que registró la mayor altura de planta con el tratamiento “Con Bioinsumos” lo que nos demuestra que esta variedad asimiló mejor los nutrientes del Vigortop, también se puede apreciar que, en general, las variedades que tuvieron la aplicación del Vigortop presentaron mayor altura. Estos resultados nos indican que entre los métodos con y sin Bioinsumos si existen diferencias expresadas en el crecimiento de las variedades de papa nativa. Aparentemente, la altura de planta en la variedad Ajahuiri, no es afectada por la aplicación de Vigortop.

Los resultados de la comparación de medias entre tratamientos indican que no hay diferencias significativas entre estos dos métodos. Asimismo, la comparación de medias entre variedades obtenidos con el programa SAS (Fig. 27) indican que la variedad Lucky y la variedad Ajahuiri presentan diferencias de crecimiento respecto a las demás variedades, asimismo, las variedades Yurima y Kusillo son parecidas en cuanto a altura de planta, esto se puede explicar por que ambas pertenecen a la sub especie *stenotomum* siendo estas variedades las que presentan valores más altos en altura final. La variedad Lucky registro la menor altura.

Los resultados del Análisis de Varianza para el area foliar se presentan en la tabla 10. Según estos resultados, existen diferencias significativas en los resultados de area foliar para los tratamientos “Con Bioinsumos” y “Sin Bioinsumos”. La interacción ha resultado significativa, los factores (Tratamiento y Variedad) no son independientes en el area foliar. Esto nos indica que existe efecto combinado. Asimismo, estos resultados nos indican que el area foliar en cada variedad fue diferente.

Los resultados de comparación de medias nos indican que existieron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin la aplicación de Vigortop. Asimismo, se evidencio que las variedades Yurima y Kusillo fueron similares en cuanto al area foliar y son distintas a las dos variedades restantes. La comparación de medias también permitió establecer que las variedades Lucky y Ajahuiri fueron diferentes en area foliar.

Según la Figura 28 las variedades tratadas con Vigortop registraron mayor area foliar en comparación con las variedades en las que no se aplicó Vigortop. Las variedades Lucky y Yurima tuvieron el mayor area foliar con el tratamiento “Con Bioinsumos” (27.6 cm), lo que nos demuestra que estas variedades asimilaron mejor los nutrientes del Vigortop. La variedad Ajahuiri fue la que registro el menor area foliar tanto en el tratamiento con Vigortop (24.4 cm), como en la que no se aplicó este bioinsumo (21.3 cm).

Según los resultados del análisis de varianza (tabla 11) para largo máximo de foliolos, existieron diferencias significativas en el largo máximo de foliolos como resultado de los tratamientos “Con Bioinsumos” y “Sin Bioinsumos”. Asimismo, la interacción entre los factores tratamientos y variedades ha resultado no significativa, lo que nos indica que estos factores son independientes en el largo de los foliolos y no existe un efecto combinado. El largo de foliolos en cada variedad fue diferente.

Los resultados de comparación de medias indican que existieron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin la aplicación de Vigortop para la longitud máxima de foliolos, es decir que en general, los foliolos las variedades de papa nativa tratadas con Vigortop fueron más largas, que aquellas que no fueron tratadas con Vigortop. Las variedades Lucky y Kusillo registraron similar longitud de foliolo, son similares entre sí en cuanto a esta variable. Asimismo, las variedades Yurima y Ajahuiri mostraron ser diferentes en la longitud

de foliolos, por consiguiente son diferentes a las otras variedades, la variedad Yurima fue la que presentó los foliolos más largos de todas las variedades en estudio.

En la Figura 29 se puede apreciar que las variedades que tuvieron la aplicación del Vigortop tuvieron mayor largo de foliolos, como se mencionó anteriormente la variedad Yurima fue la que registró el mayor largo de foliolos (5.3 cm) en el tratamiento “Con Bioinsumos” lo que nos demuestra que esta variedad asimiló mejor los nutrientes del Vigortop, en cambio la variedad Ajahuirí fue la que registro menor largo de hoja (4.3 cm) aun cuando fue tratada con el biofertilizante. Por su parte, las variedades no tratadas con Vigortop registraron menores longitudes de foliolos desde 4.1 cm hasta 4.9 cm, en las variedades Ajahuirí y Yurima, respectivamente.

El análisis de varianza realizado al número de botones florales (tabla 12) mostró que existieron diferencias significativas para esta variable entre las variedades tratadas “Con Bioinsumos” y “Sin Bioinsumos”. La interacción tratamiento – variedad ha resultado significativa, es decir que estos los factores no son independientes en la expresión del número de botones florales, existe un efecto combinado. Por lo que el número de botones florales en cada variedad fue diferente.

Los resultados de la comparación de medias indican que hay diferencias significativas en el número de botones florales de cada variedad como resultado de la aplicación y de la no aplicación de Vigortop. Asimismo, los resultados de comparación de medias entre variedades nos indican que las 4 variedades son diferentes entre sí. Existen diferencias significativas en cada una de las variedades respecto a esta variable, lo que quiere decir que cada variedad presenta diferente número de botones florales.

Según la Figura 30, las variedades que tuvieron la aplicación del Vigortop presentan mayor número de botones florales con excepción de la variedad Yurima que presentó mayor número de botones florales en el tratamiento ‘Sin Bioinsumos’. También se advierte que las variedades Ajahuirí y Lucky tuvieron similar cantidad de botones florales y son las que presentaron mayor cantidad de esta variable (10 botones florales) en el tratamiento “Con Bioinsumos” lo que nos demuestra que estas variedades asimilaron mejor los nutrientes del Vigortop. Contrariamente la variedad Kusillu registro la menor cantidad de botones florales en ambos tratamientos (2.7 y 2.4).

De acuerdo a la Tabla 13, no existen diferencias significativas en los resultados del número de tubérculos para los tratamientos “Con Bioinsumos” y “Sin Bioinsumos”. Ninguna variedad de papa es diferente en el número de tubérculos por planta. Sin embargo la interacción Tratamiento – variedad ha resultado significativa, eso quiere decir que los factores Tratamiento y Variedad no son independientes para el número de tubérculos por planta, existe efecto combinado. El análisis nos muestra que el número de tubérculos por planta es parecido en todas las variedades por lo que no existen diferencias significativas.

La comparación de medias entre tratamientos (con y sin la aplicación de Vigortop) indica no hay diferencias significativas entre estos dos métodos para el número de tubérculos por planta. Asimismo, la comparación de medias entre variedades nos indica que las 4 variedades son iguales en cuanto al número de tubérculos. No existen diferencias significativas en cada una de las variedades, lo que quiere decir que cada variedad presenta similar número de tubérculos por planta.

Los resultados de la Figura 31 indican que las variedades Ajahuirí y Kusillu presentan la más alta cantidad de tubérculos por planta en ambos tratamientos. El número más alto de tubérculos se obtuvo en la variedad Ajahuirí tratada Con Bioinsumos (18.4 tubérculos), en cambio en el tratamiento Sin Bioinsumos la variedad Kusillu fue la que registró mayor cantidad de tubérculos (17 tubérculos).

Los resultados del ANVA reportados en la Tabla 14, indican que no existieron diferencias significativas en el rendimiento en peso de tubérculo por planta para los tratamientos “Con Bioinsumos” y “Sin Bioinsumos”, según estos resultados la aplicación de Vigortop no influyo en el rendimiento en peso de tubérculos por planta. Ninguna variedad de papa es diferente en esta variable. La interacción entre los tratamientos y variedades ha resultado no significativa, es decir que los factores (Tratamiento y Variedad) son independientes en el rendimiento en peso de tubérculo por planta, por consiguiente no existe un efecto combinado de ambos factores. El análisis nos muestra que esta variable es parecida en todas las variedades por lo que no existen diferencias significativas.

Los resultados de comparación de medias entre tratamientos con y sin la aplicación de Vigortop, indican que no hay diferencias significativas entre estos dos métodos. Similarmente los resultados de comparación de medias entre variedades para la variable de rendimiento en peso por planta nos indican que las 4 variedades

son similares o iguales. No existen diferencias significativas en cada una de las variedades, lo que quiere decir que cada variedad presenta similar rendimiento en peso por planta.

Las variedades Ajahuiri y Kusillu presentan los más altos rendimientos en peso de tubérculos por planta en el tratamiento con Bioinsumos (> a 400 g), en este mismo tratamiento la variedad Lucky registro el menor rendimiento en peso (392,2 g). El valor más alto de rendimiento en el tratamiento con Bioinsumos lo tiene la variedad Kusillu, contrariamente en el método 'Sin Bioinsumos' (sin la aplicación de Vigortop) la misma variedad presenta el menor rendimiento lo que nos permite suponer preliminarmente que la variedad Kusillu asimila mejor el biofertilizante Vigortop, condición que se refleja en un mayor rendimiento de peso de tuberculos. Las variedades Lucky y Yurima no presentan diferencias en rendimiento en los dos tratamientos registrando rendimientos similares (Figura 32).

Comparando los rendimientos obtenidos de cada variedad por tratamiento efectuado se puede analizar el efecto que tuvieron los tres tipos de corte 0%, 50%, 100%.

En la categoría 0% de corte con bioinsumo la variedad Kusillu fue la que registró mayor peso de tubérculos en cambio la variedad Lucky tuvo menor peso de tubérculos por planta (Fig. 33).

Para el 50% de corte con bioinsumo (Fig. 34), la variedad Ajahuri fue la que registro mayor rendimiento en peso de tubérculos por planta, en cambio la variedad Lucky fue la que tuvo menor rendimiento.

En la categoría 100% de corte con bioinsumo (Fig. 35) la variedad Kusillu tuvo mayor rendimiento en peso de tubérculos, seguida de la variedad Ajahuiri, Yurima y finalmente la variedad Lucky con el menor rendimiento en peso.

En el caso en el cual no se realizaron cortes al follaje (0% de corte) y tampoco se realizó la aplicación de Vigortop (Fig. 36), se advierte que los rendimientos en peso de tubérculos por planta fluctuaron de 344.4 g en la variedad Lucky, a 432.3 g en la variedad Yurima, teniendo una diferencia de 87.9 g.

De acuerdo a los resultados de la Figura 37, para el nivel de corte del 50% sin bioinsumo se obtuvieron los siguientes rendimientos en peso de tubérculos: 325.0 g en la variedad Lucky, 304.2 g en la variedad Kusillu, 350.0 g en la variedad Ajahuiri y 370.8 g en la variedad Yurima.

Para el nivel de corte del 100% sin bioinsumo, la variedad Kusillu registro el menor rendimiento (208.3 g) en cambio la variedad Ajahuiri tuvo el mayor rendimiento en peso de tuberculos por planta (345.8 g), existiendo una diferencia de 137.5 g (Fig. 38).

Los resultados indican que los tratamientos con 0% de corte, con y sin bioinsumos, registraron en general, los más altos valores de rendimiento, pero se observó que las variedades tratadas con bioinsumos tuvieron valores superiores (450 g en promedio), esto se puede atribuir al efecto positivo del Vigortop.

En las plantas sujetas al 50% de corte, los rendimientos son más altos en el tratamiento con bioinsumos, esto puede atribuirse a la respuesta positiva de las variedades a la aplicación de Vigortop después del corte. Además se puede apreciar que la variedad más afectada en el tratamiento Con Bioinsumos es la variedad Lucky, en cambio en el tratamiento Sin Bioinsumos la variedad más afectada fue la variedad Kusillu. La variedad que registró mayor recuperación después de este nivel de corte fue la variedad Ajahuiri.

En los cortes de 100%, la respuesta fue diferente, se registraron rendimientos bastante bajos, especialmente con el tratamiento Sin Bioinsumos. En cambio en el tratamiento Con Bioinsumos la variedad que registro mejor recuperación fue la variedad Kusillu. Asimismo, la variedad Lucky parece ser la más afectada en este nivel de corte ya que presenta los más bajos rendimientos en ambos tratamientos.

5. **Reacción de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al corte de follaje como simulación al efecto de heladas y la aplicación de bioinsumos en la comunidad de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba).**

El análisis de varianza para los componentes de rendimiento se dividió en dos partes: Análisis para variedades diploides y análisis para variedades tetraploides. Esto se hizo debido a que las variedades tetraploides en general tienen mayores rendimientos a las diploides y no serían comparables.

a. **Análisis para variedades Diploides.**

El análisis de varianza para número de tubérculos en variedades diploides (Tabla 15) mostró que hubo varianza bloque*corte ($\sigma^2_{blq*corte} = 2894823415,8$), y también bloque*bioinsumo ($\sigma^2_{blq*bio} =$

842372424,93). Esto significa que existió efecto de parcela principal para estas variables y que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas en franjas fue el apropiado para controlar dicha variación. Por otra parte, para la variable rendimiento solo existió varianza bloque*corte ($\sigma^2_{blq*corte} = 0,004$). Esto significa que solo existió efecto de parcela principal para corte. Entonces el diseño se modificó a bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas para controlar dicha variación.

Tanto para la variable número de tubérculos como para rendimiento no existió interacción bioinsumo*corte ($Pr = 0,536$ y $Pr = 0,719$ respectivamente) ni bioinsumo*variedad ($Pr = 0,067$ y $Pr = 0,075$ respectivamente) ni bioinsumo*variedad*corte ($Pr = 0,957$ y $Pr = 0,585$ respectivamente). De este modo, las diferencias en número de tubérculos y rendimiento entre ambos niveles de bioinsumo fueron las mismas para todas las variedades y todos los cortes.

Para la variable número de tubérculos, se observó que no existieron diferencias significativas para del uso del bioinsumo ($Pr = 0,433$) (Tabla 15). Esto significa que el número de tubérculos por hectárea fue estadísticamente el mismo tanto con bioinsumo como sin bioinsumo. Sin embargo, el número de tubérculos se redujo en un 6% con el uso de bioinsumo (Fig. 39).

Asimismo, para la variable rendimiento tampoco existieron diferencias significativas para el uso de bioinsumo ($Pr = 0,097$) (Tabla 15). Esto significa que el rendimiento (t/ha) fue estadísticamente el mismo tanto con bioinsumo como sin bioinsumo. Sin embargo, el rendimiento se incrementó en un 7% con el uso de bioinsumo (Fig. 39).

Tanto para número de tubérculos como para rendimiento no existió interacción corte*variedad ($Pr = 0,969$ y $Pr = 0,329$ respectivamente), lo cual indica que las diferencias entre niveles de corte para número de tubérculos y rendimiento fueron las mismas en todas las variedades.

Por otra parte, se observó que existieron diferencias significativas entre las medias de número de tubérculos/ha para corte de follaje ($Pr < 0,05$). Al realizar las comparaciones entre medias para los tratamientos se observó que el tratamiento de corte de 100 % obtuvo menor número de tubérculos que el testigo sin corte. En cambio, el nivel de corte del 50% fue estadísticamente igual al testigo (Fig. 40). Esto significa que el número de tubérculos en estas variedades diploides no se ve afectado por una pérdida moderada de follaje sino por una pérdida drástica de follaje.

Para rendimiento también se observaron diferencias significativas entre tratamientos de corte ($Pr < 0,01$). Al realizar las comparaciones entre medias para los tratamientos se observó que el tratamiento de corte de 100 % obtuvo menor rendimiento que el testigo sin corte y el tratamiento del 50% de corte (Fig. 41). Asimismo, el rendimiento con el tratamiento de 50% de corte fue estadísticamente igual al del testigo. Esto significa que el rendimiento en estas variedades diploides al igual que el número de tubérculos no se ve afectado por una pérdida moderada de follaje sino por una pérdida drástica de follaje.

Una vez realizadas las comparaciones de medias para el número de tubérculos para la interacción bioinsumo*corte*variedad (Fig. 42), se observó que dentro de cada variedad el número de tubérculos fue estadísticamente igual para todos los tratamientos. Sin embargo, en las variedades Pinta Boca y Puka Taca los mayores números de tubérculos se obtuvieron con el testigo, seguidos por el tratamiento de 50% de corte mas bioinsumo, en tercer lugar estuvo el tratamiento de 50% de corte sin bioinsumo, en cuarto lugar estuvo el tratamiento de 100% de corte mas bioinsumo y finalmente el tratamiento de 100% de corte sin bioinsumo. Por otra parte, para las variedades Kellu Zapallo y Yana Qoyllu, el número de tubérculos más alto se obtuvo con el tratamiento de 50% de corte sin bioinsumo. En estas últimas dos variedades la respuesta al uso de bioinsumo fue tardía, ya que la planta se encontraba aún en fase de llenado de tubérculo en el momento de la cosecha. En estas dos variedades, el corte del 50% del follaje incremento ligeramente el número de tubérculos aunque no significativamente.

En el caso de rendimiento, al comparar las medias para la interacción bioinsumo*corte*variedad (Fig. 43), se observó que en la variedad Yana Qoyllu, los rendimientos fueron estadísticamente iguales con todos los tratamientos. En el caso de la variedad Puka Taca, los rendimientos fueron estadísticamente inferiores solo con los tratamientos de 100% de corte con y sin bioinsumo. Para el caso de Pinta Boca los rendimientos fueron menores para los tratamientos de 100% de corte con y sin bioinsumo y para el tratamiento de 50% de corte sin bioinsumo. Finalmente, para Kellu Zapallo, la única reducción significativa en rendimiento se produjo con el tratamiento de 100% de corte con bioinsumo. En general, el corte de 50% reacciono bastante bien a la aplicación de bioinsumo en todas las variedades igualándose al testigo.

b. Análisis para variedades Tetraploides.

El análisis de varianza para número de tubérculos/ha y rendimiento (t/ha) en variedades tetraploides (Tabla 16) mostró que hubo varianza bloque*corte ($\sigma^2_{blq*corte} = 677,802$ y $0,021$ respectivamente) y también bloque*bioinsumo ($\sigma^2_{blq*bio} = 29,912$ y $0,02$ respectivamente). Esto significa que existió efecto de parcela principal para estas variables y que el diseño bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas en franjas fue el apropiado para controlar dicha variación.

Tanto para la variable número de tubérculos como para rendimiento no existió interacción bioinsumo*corte ($Pr = 0,383$ y $Pr = 0,528$ respectivamente) ni bioinsumo*variedad*corte ($Pr = 0,512$ y $Pr = 0,669$ respectivamente). Para número de tubérculos tampoco existió la interacción bioinsumo*variedad ($Pr = 0,296$). De este modo, las diferencias en número de tubérculos entre ambos niveles de bioinsumo fueron las mismas para todas las variedades y todos los cortes. Para rendimiento fueron las mismas únicamente para todos los cortes no así para todas las variedades.

Para la variable número de tubérculos, se observó que existieron diferencias significativas para el uso del bioinsumo ($Pr < 0,05$) (Tabla 16). Esto significa que el número de tubérculos por hectárea fue estadísticamente inferior con el uso de bioinsumo (Fig. 44). Podría decirse que la falta de bioinsumo en las plantas que sufrieron pérdida de follaje ocasionó la formación de mayor número de tubérculos.

Por otra parte, para la variable rendimiento no existieron diferencias significativas para el uso de bioinsumo en las variedades Waych'a, Imilla Lunku y Sakampaya ($Pr = 0,06$, $Pr = 0,649$ y $Pr = 0,419$ respectivamente) (Tabla 16). Esto significa que el rendimiento (t/ha) en estas variedades fue estadísticamente el mismo tanto con bioinsumo como sin bioinsumo. Sin embargo, en la variedad Yana Sutamari, el rendimiento fue estadísticamente superior ($Pr < 0,01$) con el uso de bioinsumo (Fig. 45).

Tanto para número de tubérculos como para rendimiento no existió interacción corte*variedad ($Pr = 0,918$ y $Pr = 0,668$ respectivamente), lo cual indica que las diferencias entre niveles de corte para número de tubérculos y rendimiento fueron las mismas en todas las variedades (Tabla 16).

Por otra parte, se observó que existieron diferencias significativas entre las medias de número de tubérculos para corte de follaje ($Pr < 0,01$) (Tabla 16). Al realizar las comparaciones entre medias para los tratamientos se observó que el tratamiento de corte de 100 % obtuvo menor número de tubérculos que el testigo sin corte. En cambio, el nivel de corte del 50% fue estadísticamente igual al testigo (Fig. 46). Esto significa que el número de tubérculos en estas variedades tetraploides no se ve afectado por una pérdida moderada de follaje sino por una pérdida drástica de follaje.

Para rendimiento también se observaron diferencias significativas entre tratamientos de corte ($Pr < 0,01$). Al realizar las comparaciones entre medias para los tratamientos se observó que el tratamiento de corte de 100 % obtuvo menor rendimiento que el testigo sin corte y el tratamiento del 50% de corte (Fig. 47). Asimismo, el tratamiento de 50% de corte obtuvo menor rendimiento que el testigo. Esto significa que el rendimiento en estas variedades tetraploides sí se ve afectado por una pérdida moderada de follaje (50% de corte).

Una vez realizadas las comparaciones de medias para el número de tubérculos para la interacción bioinsumo*corte*variedad (Fig. 48), se observó que para las variedades Waych'a, Yana Sutamari e Imilla Lunku el número de tubérculos fue estadísticamente igual para todos los tratamientos. Sin embargo, también se observa que el número de tubérculos es ligeramente superior sin el uso de bioinsumo. Por otra parte, en la variedad Sakampaya el número de tubérculos se redujo en el tratamiento 100% de corte más bioinsumo con respecto al testigo. Esto podría deberse a que la respuesta al uso de bioinsumo en este tratamiento fue tardía y la planta recién se encontraba formando tubérculos en el momento de la cosecha.

En el caso de rendimiento, al comparar las medias para la interacción bioinsumo*corte*variedad (Fig. 49), se observó que en las variedades Waych'a y Sakampaya los rendimientos para 50% de corte (con y sin bioinsumo) fueron estadísticamente iguales a los de los testigos. Por otra parte, los tratamientos para 100% de corte (con y sin bioinsumo) mostraron reducción con respecto al testigo. Estas variedades pueden tolerar pérdidas moderadas de follaje pero no pérdidas drásticas. Las variedades Imilla Lunku y Yana Sutamari mostraron reducción en sus rendimientos con respecto al testigo con el tratamiento de 50% de corte sin bioinsumo y los tratamientos de 100% de corte (con y sin bioinsumo). El tratamiento de 50% de corte con bioinsumo fue estadísticamente igual al testigo. Esto significa que estas variedades son sensibles a pérdidas moderadas de follaje y solamente con el uso de bioinsumo se pueden recuperar estas pérdidas.

Conclusiones

1. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas frente a los riesgos climáticos en la comunidad Cariquina grande (La Paz)

- En la presente investigación se lograron identificar a Kusillu, Yurima, Chiyar Ajawiri, Qaqa surimana y Chiyar phiñu seis variedades de papa nativa que toleraron a helada invernal en relación a su cobertura foliar y de las que se destaca a la Yurima con un rendimiento de 10,11 t/ha, en tanto que Qaqa surimana, Chiyara phiñu, Chiyar Ajawiri con cierta tolerancia foliar necrótico y un rendimiento de 4 hasta 7 t/ha, en tanto la variedad Kusillu tiene una buena tolerancia pero bajo rendimiento esto debido a ser una variedad tardía.

2. Efecto de bioinsumos en la respuesta agronómica de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) para mitigar el efecto de las heladas en el Altiplano Norte, Cariquina (La Paz)

- La investigación mostró a las variedades Yurima (*S. stenotomum*) y Chiyar Ajawiri (*S. ajanhuiri*) con menor incidencia y severidad a la helada, con valores próximos a la variedad Lucki (*S. x juzepzukii*) que tiene alta tolerancia a las heladas y utilizada como testigo en la investigación.
- Bajo escenarios de helada, entre las seis variedades nativas de papa, Yurima (*S. stenotomum*) tuvo mayor rendimiento (14.24 t/ha) similar al testigo Waycha (*S. tuberosumsspandigena*) que tuvo (13.72 t/ha).
- Los bioinsumos tuvieron efecto significativo en la primera época, incrementando los rendimientos en las variedades Yurima, Lucki, ChiyarAjawiri y Kusillu, en cambio en la segunda época no existió un efecto significativo en el rendimiento, al no concluir la madurez fisiológica las plantas.
- El mayor resultado resiliente tuvo la variedad Yurima (17.42), seguidos de Q'aca Surimana y ChiyarAjawiri (12.58 y 12.25% respectivamente) en relación a las otras variedades en estudio.
- En general, destacan las variedades Yurima y Kusillo por una buena performance bajo condiciones de helada.

3. Evaluación de los efectos de la helada y del uso de Bioinsumos en 4 variedades nativas de papa (*Solanum tuberosum*) en la comunidad Coromata Media del Municipio de Huarina (La Paz)

- Existió un efecto positivo del uso de bioinsumos (Vigortop) en la altura de planta, area foliar y en el tamaño de foliolos de cuatro variedades de papa nativa en condiciones de Coromata Media.
- Los rendimientos en peso de tubérculos por planta son similares en las variedades tratadas Con Bioinsumos y Sin Bioinsumos.
- Las variedades con 0% de corte registraron los mayores rendimientos en ambos tratamientos, Con Bioinsumos y Sin Bioinsumos.
- Las variedades con 50% y 100% de corte registraron una recuperación favorable con la aplicación de Vigortop luego de los cortes, aunque no fue significativa para el rendimiento.
- Las variedades Chiyar Ajawiri y Kusillo fueron las que tuvieron una mejor respuesta fisiológica a condiciones adversas causadas por los cortes, ambas variedades mostraron una mayor recuperación a los cortes realizados.

4. Reacción de cultivares nativos de papa (*solanum tuberosum* L.) al corte de follaje como simulación al efecto de heladas en la comunidad de Waylla Pujru, Tiraque

- Bajo helada natural el cultivar Luky seguida de Huacho Qoyllu y Puka Taca fueron los más resistentes, debido que presentaron las severidades más bajas.
- Los cultivares Candelero, Huaycho Qoyllu, Kellu Zapallo, Pinta Boca, Puka Qoyllu, Yana Ajanhuiri, Yana Qoyllu y Yuraj Qoyllu tuvieron mayor recuperación después del estrés por pérdida de follaje.
- El corte de follaje ocasionó mayores pérdidas en los rendimientos que en el número de tubérculos.
- El cultivar con mayor pérdida de tubérculos y rendimiento fue Sani Imilla.
- Los cultivares con menor pérdida de número de tubérculos y rendimiento fueron Candelero y Pinta Boca. Sin embargo, sus rendimientos potenciales fueron bajos comparados con Imilla Lunku, Puka Taca y Yana Sutamari.
- Imilla Lunku, Puka Taca y Yana Sutamari destacaron por su tolerancia al corte del 50 y 100% de follaje.

5. Reacción de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al corte de follaje como simulación al efecto de heladas y la aplicación de bioinsumos en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba)

- La pérdida drástica de follaje (100%) como efecto de simulación de helada causo reducciones en número de tubérculos y rendimiento en las variedades diploides y tetraploides. La pérdida moderada de follaje (50%) como efecto de simulación de helada solo causo reducciones en el rendimiento de las variedades tetraploides.
- Entre las variedades diploides tolerantes a la pérdida de follaje como efecto de simulación de helada tenemos a Yana Qoyllu con bajo potencial de rendimiento y a Puka Taca con alto potencial de rendimiento. Entre las

variedades tetraploides tenemos a Imilla Lunku, Sakampaya y Yana Sutamari (todas con alto potencial de rendimiento).

- Entre las variedades diploides no se observó un efecto favorable significativo de la aplicación del bioinsumo Vigortop en los componentes de rendimiento de ninguno de los tratamientos de corte. Por otra parte, en las variedades tetraploides; solo se observa un efecto favorable en el rendimiento de la variedad Yana Sutamari.

Bibliografía consultada

AGUILAR P. (1999). Selección de Cultivares de Quinua para Analizar su resistencia a la Sequia en Tres Ambientes de la Cuenca del Titicaca. Bolivia. Pág. 1-7.

Alarcón, V. 2011. "Inventariación de la agrobiodiversidad en la comunidad de Coromata media- provincia Omasuyos. Tesis Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, Fac. Agronomía. La Paz – Bolivia, p 15-16.

Aldunate, J. 2006. "Estudio de la cadena productiva de semilla de papa en cuatro municipios de la mancomunidad de Chuquisaca norte". 37-39 p.

ALTIERI, M.A.1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst, Environ* 74; 19-31.

Angulo, A.; M. Siles; R. Ríos; J. Gabriel. 2009. Caracterización de 118 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) del Banco de Germoplasma del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pirumani para resistencia a sequía. *Revista de Agricultura* 42 (60): 25-31.

Artunduaga, R. y Torrez, E. 1982. Principios básicos de la ocurrencia de las heladas y su control. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica. 33 p.

Artunduaga, R. y Torrez, E. 1982. Principios básicos de la ocurrencia de las heladas y su control. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica. 33 p.

Basurto, S. 2003. Fisiología del Estrés Ambiental en Plantas. Artículo de investigación. Buenos Aires. Argentina. pp: 30

Blum, A. 1993. Selection for sustained production in water deficit environments. *Crop Sci.* 1: 343-347.

Cadima, X., Durán, G., Zeballos, J. 2003. Desarrollo de una colección núcleo de la colección de papa cultivada (*Solanum* spp.) del banco de germoplasma de raíces y tubérculos andinos de Bolivia, PROINPA. Cochabamba, Bolivia, 93 p.

Calatayud, 2007. C. sf. Apuntes "Cultivo papa". Facultad de Agronomía – UMSA. La Paz – Bolivia. p 1 – 20.

Callisaya, 2010. Fisiología y anatomía vegetal. Guía de estudio. 110 p.

CARRASCO E. (1993). Estudios de la herencia de las heladas en clones nativos *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* de Bolivia. Universidad Agraria La Molina. Lima – Perú. 52 p.

CARRILLO S., J.A.; LIVERA M.,M.; ORTÍZ C., J.; MENDOZA O., L. E. 1993. Relaciones térmicas en las hojas de cuatro cultivos durante heladas invernales, en Montecillos, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 16(3): 113-133.

Carrillo, C. R. 1998. Calibración del modelo de simulación lintul para describir el efecto de lasheladas sobre el rendimiento de cultivo de papa. U.T.O, Oruro, Bolivia. pp: 50-52.

Ceccarelli, S. 1984. Plant responses to water stress. *Gen. Agr.* 38:43-74.

Centro Internacional de la Papa (CIP). 2008. La papa y la biodiversidad. Cartilla informativa. Lima, Perú. 15 p.

Choque, E.; Espinoza, R.; Cadima, X.; Zeballos, Gabriel, J. 2007. Resistencia a helada en germoplasma de papa nativa de Bolivia *Revista Latinoamericana de la Papa.* 14(1): 24-32

CIP (Centro Internacional de la Papa). (2008). La papa y la biodiversidad. Cartilla informativa sobre el papa.

CIP, Centro internacional de la papa 2008. "El sector papa en la región andina, diagnostico y elementos para una visión estratégica" 63-65 p. Disponible en http://translate.google.com.bo/translate?hl=es&sl=en&u=http://cipotato.org/&prev=/search%3Fq%3DCIP%26hl%3DDes%26biw%3D1600%26bih%3D757%26prmd%3Dimvns&sa=X&ei=L_iWUNvMFJsg8QSom4HwDg&ved=0CCAQ7gEwAA. Pdf.

Dominguez, A. 2010 XVI Simposium Internacional sobre el manzano y frutales de clima templado.

- Ekanayake, I.J. 1993. Estudios sobre el estrés hídrico por sequía y necesidades de riego de la papa. Lima Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 38 p.
- Estrada, R.N. 2000. La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martinez (eds.) La Paz, Bolivia. 372 p.
- Fairlie, T. 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.
- FAO, 1997. Informe de cambios climáticos y sus consecuencias. Roma, Italia.
- FAO, 2010. "Protección contra las heladas; fundamentos, practica y economía". 60 p. Roma, Italia.
- Ferraris, G. y Ponsa, J. C. 2008. Efecto De La Fertilización Foliar Complementaria en la Recuperación Post-Estrés de Soja afectada por Bajas Temperaturas. Proyecto Regional Agrícola-CERBAN. Área de Desarrollo Rural INTA EEA. Pergamino, Argentina
- Gabriel J., Ortuño N., Franco J., Plata G., Angulo A. y Magne J. 2010. Manual metodológico para la evaluación de resistencia y/o susceptibilidad de factores bióticos y abióticos en papa (*Solanum tuberosum* L.)
- Gabriel J, Porco P, Angulo A, Magne J, La Torre J, Mamani P (2011) Genetic resistance to water stress by drought in potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under greenhouse conditions. *Revista Latinoamericana de la Papa* (Perú) Vol. 16 (2): 173 - 208.
- Gabriel, J. 2010. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. ISBN: 978-99954-743-2-4, Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- Gabriel, J. y Carrasco, E. 1.998. Evaluación Preliminar de la Resistencia Durable al tizón *Phytophthora infestans* en Cultivos Nativos de Papa del Banco de Germoplasma Boliviano. En: Danial, D., Chicaiza, O. (eds.). Segundo Taller de PREDUZA en Resistencia Duradera en cultivos Altos en la Zona Andina. 22-24 Septiembre de 1.998. Cochabamba, Bolivia. p. 153-158.
- Gandarillas A. y Ortuño N. 2009. Compendio de Enfermedades, Insectos, Nematodos y factores Abióticos que afectan al Cultivo de la Papa en Bolivia, Cochabamba, Bolivia.
- Gonzales A (2009) aplicación del medidor portátil de clorofila En programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología* 4: 111-116.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), 2007. Informe síntesis sobre Cambio Climático. Suecia, pp: 2 - 4.
- Herrera, E. 2009. "Efecto de aplicación de abonos orgánicos y químicos en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), y comportamiento en las propiedades físicas del suelo". Facultad de agronomía – UMSA. La Paz – Bolivia. 4-10 p.
- Hijmans, R. J. 2002. Diversidad y ecología de la papa. Ph.D. Tesis doctoral. Universidad Americana Journal de Botánica, pp: 25 - 36.
- Hooker, W.J. 1982. Compendio de enfermedades de la papa. Trad. del Inglés por Teresa Ames de Icochea. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 165 pp.
- HUAMÁN, Z. Y GÓMEZ, R. 1994. Descriptores de Papa para la Caracterización Básica de Colecciones Nacionales. Edición actualizada. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima. 10p.
- INE. 2012. Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. En: www.ine.gob.bo
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE). 2008. Bolivia: Eventos adversos de origen natural reportados, según tipo de evento, 2002–2008. <http://www.ine.gov.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC80601.HTM>. Consulta: Julio - 2011.
- INTA 2007. Guía rápida para determinar la cobertura vegetal, EEAC. Del Uruguay. Pág 9.
- Iriarte V, Condori B, Parapo D, Acuña D (2009) Catálogo etnobotánico de papas nativas del Altiplano Norte de La Paz-Bolivia. Cochabamba, Bolivia. 142 pp.
- IRIARTE V., CONDORI B., PARAPO D. y ACUÑA D. (2009). Catalogo Etnobotánico de Papas Nativas del Altiplano Norte de La Paz- Bolivia. Pág. 7- 12.

- Iriarte, V. Condori, B. Parapo, D. Acuña, D. (2009), Catalogo etnobotánica de papas nativas del altiplano norte. La Paz Bolivia 56-119 p.
- J. Leyva-Carmona; J. S. Barrales-Domínguez, 2001. COBERTURA VEGETAL Y DAÑOS AUSADOS POR HELADA EN PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Revista Chapingo Serie Horticultura 7(2): 151-158.
- KSENZHEK, O. S.; VOLKOV, A. G. 1998. Plant Energetics. Academic Press. USA. 389 p.
- Le Tacon, Ph., J.J. Vacher, M.Eldin, E. Imaña. 1991. Los riesgos de helada en el altiplano Boliviano. En: Morales, D., J.a. Vacher. 1991. Actas VII Congreso Internacional sobre cultivos andinos. IBTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia.
- LUDWIG Y REYNOLDS (1988) STATISTICAL ECOLOGY: A PRIMER ON METHODS AND COMPUTING.
- LYONS, J. M. 1979. Chilling injury in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 27: 507-528.
- Mamani, P. 2000. Effet de la secheresse sur six varietés de pomme de terre dans les andes boliviennes. Tesis M.Sc., Universite Catholique de Louvain, Faculte des Sciences Agronomiques, Bélgica. 43 p.
- Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad 2006, Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt, 149-185 pag.
- Martinez – Garza, A. 1988. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Trillas, México D. F., Mexico. 756 p.
- Mendoza P.R. 2003. Cultivo y Comercialización de la Papa, Ediciones Ripalme, Perú.
- Miller, D.E.; M.W. Marti. 1987. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. *Am. Potato. J.* 64: 17-26.
- Moorby y Milthorpe, 1983. "Compendio para la identificaciones de los estudios fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas". BBCH. p 41 – 47.
- MORENO, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T – Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- MRDyT. 2012. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia. En: www.agrobolivia.gob.bo
- Ochoa, C. 2001. Las papas de Sudamérica: Bolivia. Plural editores/CID. 535 p.
- Ortuño N, Navia O, Medrano A, Rojas K, Torrico L (2010) Desarrollo de Bioinsumos: Un Aporte Importante a la Soberanía Alimentaria de Bolivia. *Revista de Agricultura* (47): 31-35.
- Ortuño N, Navia O, Meneces E, Borja D, Villca S, Plata G, Claros M, Gutiérrez C, Arandia W, Crespo L, S/F. Catalogo de Bioinsumos para mejorar la producción de los cultivos ecológicos y convencionales. PROINPA-BIOTOP, Cochabamba, Bolivia. P.13-14.
- Ortuño, (2010), "Catalogo de bioinsumos", La Paz Bolivia, 16 p.
- Programa Nacional de Cambios Climático (PNCC). 2009. Ministerio de Planificación del Desarrollo. La Paz – Bolivia, pp: 128 - 130.
- PROINPA. (1998). Informe compendio del programa de investigación de la papa, PROINPA, COTESU, Cochabamba – Bolivia.
- PROINPA. 1996. Selección y difusión de cultivares con tolerancia a factores abióticos. En: Informe anual Compendio 1994-1.995 IBTAPROINPA, CIP. COTESU. Cochabamba- Bolivia. p. 29-33
- Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA). 2009. Informe Compendio de Recursos Genéticos, Cochabamba, Bolivia, 12 p.
- Raes D. y García M. 2011. Compendio - trabajos de Investigación, Proyecto QUINAGUA, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia
- Rojas, F. 2006. "Guía de Botánica Sistemática" Facultad de Agronomía-UMSA. La Paz-Bolivia. p 55.
- SAS Institute Inc. (2004) SAS/STAT Users Guide, Version 9.2, Fourth Edition, Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Siles M (2005) Diseño de bloques incompletos con una sola repetición en la evaluación preliminar de material avanzado en programas de mejoramiento genético de cultivos. *Revista de Agricultura* 34: 39-45.

Snyder, R. y Melo-Abreu J. P. de. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. FAO. Roma-Italia. 241 p.

STUCKERY H. T.; CURTIS, O.T. 1938. Ice formation and the death of plants cells by freezing. *Plant Physiol.* 13: 815-833.

Terrazas F, Cadima X, García R & Zeballos J (2008) Catálogo etnobotánico de papas nativas. Tradición y cultura de los Ayllus del Norte Potosí y Oruro. Ricerca & Cooperazione, Unión Europea, Centro de Apoyo a Desarrollo, GTZ, Fundación PROINPA, MDRyMA. Cochabamba - Bolivia. 189 p.

Torrez, E. 1995. Agrometeorología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ed. Trillas México. 150 p.

YORIKO YASUKAWA, 2011. Tras las huellas del cambio climático en Bolivia. PNUD Bolivia. Impresion ABBASE Ltda, La Paz. p.150.

Zeballos H. 1997. Aspectos Económicos de la Producción de papa en Bolivia. COSUDE, CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú.

ZEBALLOS H., BALDERRAMA C., CONDORI B., y BLAJOS J. (2009). Economía de la papa en Bolivia (1998-2007), Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. Pág. 41.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Combinación de los tratamientos para evaluación de cultivares de papa nativa a heladas en Cariquina Grande-La Paz, 2010-2011

TRATAMIENTO	COMBINACION	TRATAMIENTO	COMBINACION
T1	a1b1	T13	a2b1
T2	a1b2	T14	a2b2
T3	a1b3	T15	a2b3
T4	a1b4	T16	a2b4
T5	a1b5	T17	a2b5
T6	a1b6	T18	a2b6
T7	a1b7	T19	a2b7
T8	a1b8	T20	a2b8
T9	a1b9	T21	a2b9
T10	a1b10	T22	a2b10
T11	a1b11	T23	a2b11
T12	a1b12	T24	a2b12

Donde: a1: Primera siembra 4 de noviembre (acostumbrada), a2: Segunda siembra 4 de diciembre (tardía), b1: Kusillu (*Solanum Stenotomum*), grupo varietal Khaty, b2: Q'illu puya (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty, b3: Runtu papa (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty, b4: Qaqa surimana (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty, b5: Chiyara phiñu (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty, b6: Phureja (*Solanum phureja*), grupo varietal Khaty, b7: Janq'u K'awiri (*Solanum x ajahuiri*), grupo varietal Khaty, sub grupo K'awiri. b8: Chiyara K'awiri (*Solanum x ajahuiri*), grupo varietal Khaty, sub grupo K'awiri, b9: Yurima (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty, b10: Sacampaya (*Solanum andigena*), grupo varietal Khaty, b11: Waych'a (*Solanum andigena*), grupo varietal Imillas, b12: Lucki (*Solanum x juzepczukii*), grupo varietal luckis.

Tabla 2. Genealogía y ploidía de 15 cultivares nativos de papa junto a dos testigos evaluados en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba), Año 2012

N°	Variedad	Especie	Ploidía
1	Candelerero	stn	2n=2x=24
2	Huaycho Qoyllu	stn	2n=2x=24
3	Imilla Lunku	adg	2n=4x=48
4	Kellu Zapallo	gon	2n=2x=24
5	Luki	juz	2n=3x=36
6	Pinta Boca	stn	2n=2x=24
7	Puka Qoyllu yana	stn	2n=2x=24
8	Puka Sutamari	adg	2n=4x=48
9	Puka Taca	stn	2n=2x=24
10	Sakampaya	adg	2n=4x=48
11	Sani Imilla	adg	2n=4x=48
12	Yana Ajanhui	ajh	2n=2x=24
13	Yana Qoyllu	stn	2n=2x=24
14	Yana Sutamari	adg	2n=2x=24
15	Yuraj Qoyllu	stn	2n=2x=24
Testigo	Désirée	tbr	2n=4x=48
Testigo	Waych'a	adg	2n=4x=48

Donde: stn: *Solanum stenotomum*, gon: *S. goniocalyx*, ajh: *S. ajanhuiri*, adg: *S. andigena*.

Fuente: Iriarte et al. (2009), Terrazas et al. (2008).

Tabla 3. Genealogía y ploidía de siete variedades nativas de papa junto al testigo local Waych'a evaluados en Waylla Pujru Tiraque (Cochabamba)

N°	Variedad	Especie	Ploidía	
1	Imilla Lunku	adg	2n=4x=48	Tetraploide
2	Kellu Zapallo	gon	2n=2x=24	Diploide
3	Pinta Boca	stn	2n=2x=24	Diploide
4	Puka Taca	stn	2n=2x=24	Diploide
5	Sakampaya	adg	2n=4x=48	Tetraploide
6	Yana Qoyllu	stn	2n=2x=24	Diploide
7	Yana Sutamari	adg	2n=2x=24	Diploide
Testigo	Waych'a	adg	2n=4x=48	Tetraploide

Leyendas: stn: *Solanum stenotomum*, y adg: *S. andigena*.

Fuente: Iriarte et al. (2009), Terrazas et al. (2008).

Tabla 1. Análisis de varianza incidencia de helada en cultivares de papa nativa en el Altiplano Norte, Cariquina Grande- La Paz. 2011-2012

FV	GL	SC	CM	P > F	
Época	1	30752	30752	<.0001	**
Bloque	2	69.69	34.85	0.3407	ns
Variedad	5	849.44	169.89	0.0006	**
Biofertilizante	1	997.56	97.56	<.0001	**
Época*variedad	5	206.67	41.33	0.2775	ns
Época*biofertilizante	1	533.56	533.56	0.0002	**
Variedad*biofertilizante	5	299.78	59.96	0.1133	ns
Época*variedad*biofertilizante	5	425.44	85.09	0.0325	*
Error	46	1454.30	31.61		
Total	71	35588.44			

CV = 21.44%

Tabla 5. Análisis de varianza severidad de la helada en cultivares de papa nativa en el Altiplano Norte, Cariquina Grande- La Paz. 2011-2012

FV	GL	SC	CM	P > F	
Época	1	7421.69	7421.69	<.0001	**
Bloque	2	107.11	53.56	0.0152	*
Variedad	5	289.48	57.88	0.001	**
Biofertilizante	1	276.13	276.13	<.0001	**
Época*variedad	5	159.41	31.88	0.0303	*
Época*biofertilizante	1	231.13	231.13	<.0001	**
Variedad*biofertilizante	5	47.29	9.46	0.5477	ns
Época*variedad*biofertilizante	5	46.63	9.33	0.5555	ns
Error	46	536.22	11.65		
Total	71	9114.98			

CV= 30%

Tabla 6. Análisis de varianza para la resiliencia a la helada en cultivares de papa nativa en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

FV	GL	SC	CM	P > F	
Época	1	868.06	868.06	<.0001	**
Bloque	2	1356.86	678.43	0.0798	ns
Variedad	5	778.28	155.66	0.0096	**
Biofertilizante	1	338	338	0.0086	**
Época*variedad	5	31.11	6.22	0.9824	ns
Época*biofertilizante	1	40.5	40.5	0.3469	ns
Variedad*biofertilizante	5	83.17	16.63	0.866	ns
Época*variedad*biofertilizante	5	31.33	6.27	0.9821	ns
Error	46	2063.13	44.85		
Total	71	5590.44			

CV = 29.37%

Tabla 7. Análisis de varianza para el rendimiento en cultivares de papa nativa en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

FV	GL	SC	CM	P > F	
Época	1	2280.83	2280.82	<.0001	**
Bloque	2	54.08	27.04	0.0292	*
Variedad	5	531.26	106.25	<.0001	**
Biofertilizante	1	12.78	12.78	0.1857	ns
Época*variedad	5	354.8	70.96	<.0001	**
Época*biofertilizante	1	26.96	26.96	0.0572	ns
Variedad*biofertilizante	5	54.52	10.9	0.1963	ns
Época*variedad*biofertilizante	5	115.46	23.09	0.0133	*
Error	46	325.82	7.08		
Total	71	3756.53			

Tabla 8. Componentes de varianza del número de tubérculos y rendimiento para 15 cultivares de papa nativa sometidas a dos niveles de corte de follaje. en la zona de Waylla Pujro, Tiraque -Cochabamba. Año 2012

F.V.	gl	C.M.	
			Número de Tubérculos
			Rendimiento(t/ha)
Blq	2		10.249
Variedad (var)	16		37.133**
Corte	1		205.831**
Blq*Var	31		2.705
Blq*Corte	2		4.444
Var*Corte	16		3.281**
C.V.			20.598
R ²			0.768

** Diferencias significativas a Pr<0.01

Tabla 9. Resultados del Análisis de varianza para la altura de planta en cultivares de papa nativa evaluados en Coromata-La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Ft (5%)	Significancia
Bloque	2	0.24	0.12	0.08	19	NS
Tratamiento	1	20.66	20.66	14.12	18,51	NS
Error a	2	2.92	1.46			
Variedad	3	306.65	102.21	218.60	3,49	*
Met*Var	3	16.82	5.60	12.00	3,49	*
Error b	12	5.61	0.46			
Total	23	352.92				

Tabla 10. Análisis de varianza para el área foliar de cultivares de papa nativa evaluados en Coromata-La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Ft (5%)	Significancia
Bloque	2	0.8041583	0.4020792	0.51	19	NS
Tratamiento	1	105.7980042	105.7980042	133.87	18,51	*
Error a	2	1.580658	0.7903292			
Variedad	3	44.8420792	14.9473597	94.61	3,49	*
Trat*Var	3	11.9747458	3.9915819	25.27	3,49	*
Error b	12	1.8958500	0.1579875			
Total-	23	166.8954958				

Tabla 11. Análisis de varianza para el largo máximo de folíolos en cultivares de papa nativa evaluados en Coromata-La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Ft (5%)	Significancia
Bloque	2	0.08600833	0.04300417	1.26	19	NS
Tratamiento	1	0.83626667	0.83626667	24.59	18,51	*
Error a	2	0.06800833	0.03400417			
Variedad	3	2.82556667	0.94185556	21.49	3,49	*
Trat*Var	3	0.14323333	0.04774444	1.09	3,49	NS
Error b	12	0.52605000	0.04383750			
Total	23	4.48513333				

Tabla 12. Análisis de varianza para el número de botones florales en cultivares de papa nativa en Coromata-La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Ft (5%)	Significancia
Bloque	2	0.1608333	0.0804167	0.96	19	NS
Tratamiento	1	2.5350000	2.5350000	30.27	18,51	*
Error a	2	0.1675000	0.0837500			
Variedades	3	180.3433333	60.1144444	774.28	3,49	*
Trata*Var	3	14.3950000	4.7983333	61.80	3,49	*
Error b	12	0.9316667	0.0776389			
Total	23	198.5333333				

Tabla 13. Análisis de varianza de número de tubérculos por planta en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Ft (5%)	Significancia
Bloque	2	57.12	28.56	2.97	19	NS
Tratamiento	1	7.93	7.93	0.8	18,51	NS
Error a	2	19.23	9.61			
Variedad	3	119.64	39.88	2.27	3,49	NS
Trat*Var	3	7.94	2.64	61.80	3,49	*
Error b	12	211.19	17.59	0.15		
Total	23	423.08				

Tabla 14. Análisis de varianza del rendimiento en peso de tubérculos por planta en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Ft (5%)	Significancia
Bloque	2	23028.46	11514.23	11.14	19	NS
Tratamiento	1	9492.30	9492.30	9.19	18,51	NS
Error a	2	2066.78	1033.39			
Variedad	3	19574.12	6524.70	1.55	3,49	NS
Trat*Var	3	11161.81	3720.60	0.88	3,49	NS
Error b	12	50613.77	4217.81			
Total	23	115937.26				

Tabla 15. Componentes de varianza de componentes de rendimiento para 4 variedades diploides de papa nativa bajo 3 niveles de corte de follaje como efecto de simulación de helada bajo invernadero y 2 niveles de bioinsumo para contrarrestar la pérdida de follaje en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

F.V.	gl	C.M.	σ^2	C.M.	σ^2
		Rendimiento		Nº Tubérculos	
Bloque	5	2,516	0,082	1,56458E+11	3511387406
Bioinsumo	1	1,547		51691005953	
Corte	2	29,949**		392391540720,141*	
Variedad	3	33,027**		538072010248,893**	
Bloque*Bioinsumo	5	0,493	0	54921781706	842372425
Bloque*Corte	10	0,676	0,004	67297165141	2894823416
Bioinsumo*Corte	2	0,171		30605047244	
Bioinsumo*Variedad	3	1,579		1,10915E+11	
Variedad*Corte	6	0,714		10935902584	
Bioinsumo*Variedad*Corte	6	0,473		11367927233	
Residual	94	0,670	0,670	45623412770	4,5623E+10
C.V.		24,192		38,112	
R ²		0,762		0,531	

*= Significativo (Pr<0.05), **=Altamente significativo (Pr<0.01).

Tabla 16. Componentes de varianza de componentes de rendimiento para 4 variedades tetraploides de papa nativa bajo 3 niveles de corte de follaje como efecto de simulación de helada bajo invernadero y dos niveles de bioinsumo para contrarrestar la pérdida de follaje en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

F.V.	Gl	C.M.	σ^2	C.M.	σ^2
		Rendimiento		Nº Tubérculos	
Bloque	5	3,761	0,12	36695,758	1071,939
Bioinsumo	1	1,289		83028,368*	
Corte	2	75,2**		202313,593**	
Variedad	3	6,705**		971258,613**	
Bloque*Bioinsumo	5	0,727	0,02	9288,752	29,912
Bloque*Corte	10	0,684	0,021	12845,218	677,802
Bioinsumo*Corte	2	0,28		8008,449	
Bioinsumo*Variedad	3	2,88**		1,01E+04	
Variedad*Corte	6	0,367		2788,914	
Bioinsumo*Variedad*Corte	6	0,333		5969,895	
Residual	94	0,509	0,509	7625,613	7625,613
C.V.		13,336		11,134	
R ²		0,82		0,849	

*= Significativo (Pr<0.05), **=Altamente significativo (Pr<0.01).

Figura 1. Aplicación de Vigortop antes de la floración de la papa nativa (izquierda) y zanjas con plástico para evitar ataque de plagas (derecha), en Coromata Media (La Paz)



Figura 2. Porcentaje de cobertura foliar por variedad a los 127 días después de la siembra, Cariquina grande-La Paz, 2010-2011

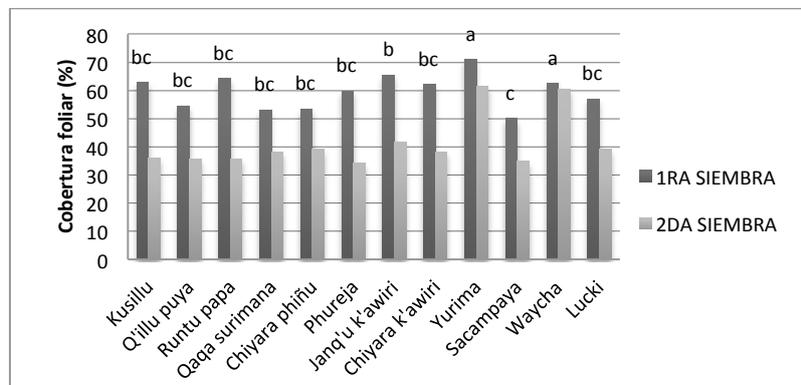


Figura 3. Porcentaje de Incidencia por variedad, registrada en la segunda época, Cariquina grande-La Paz, 2010-2011

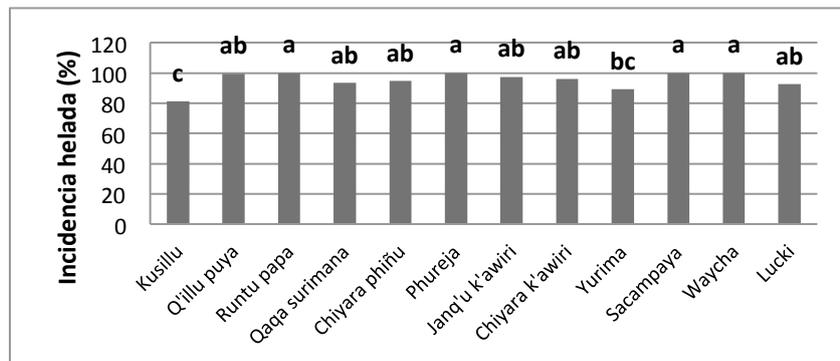


Figura 4. Porcentaje dañado por helada en su cobertura foliar, Cariquina grande-La Paz, 2010-2011

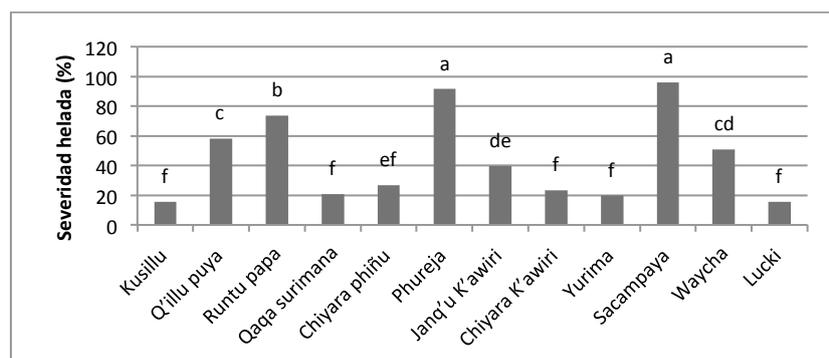


Figura 5. Rendimiento de las variedades en las distintas épocas de siembra, Cariquina grande-La Paz, 2010-2011

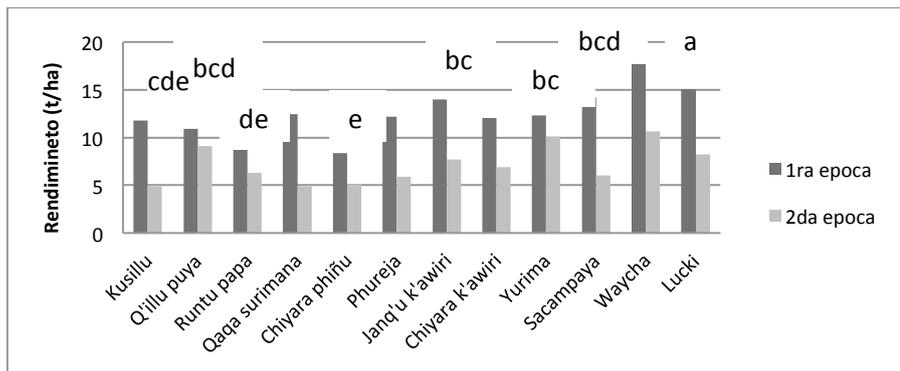


Figura 6. Incidencia de la helada en el follaje, en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

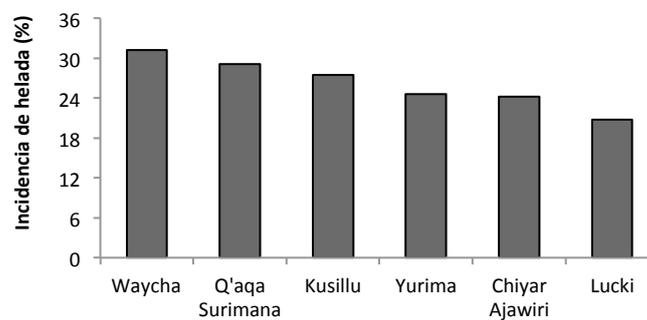


Figura 7. Severidad de la helada en el follaje ($P < 0,01$) en cultivares de papa nativa en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

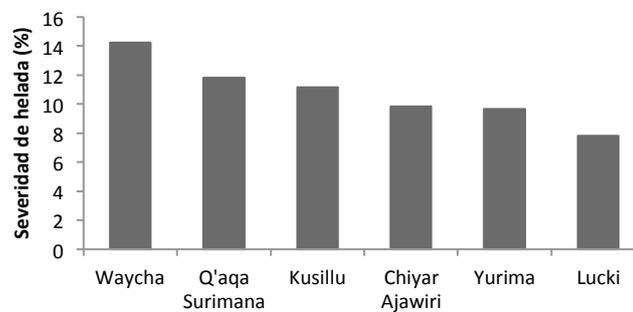


Figura 8. Resiliencia de cultivares de papa nativa al daño causado por helada en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

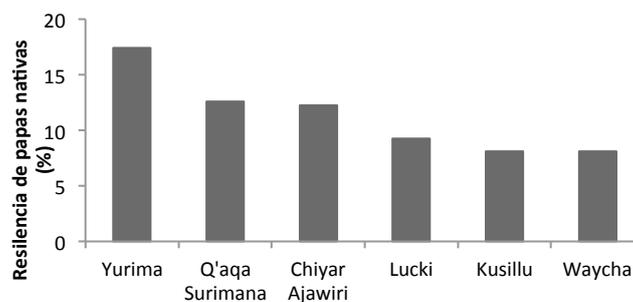


Figura 9. Rendimiento de papa por variedad en t/ha en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

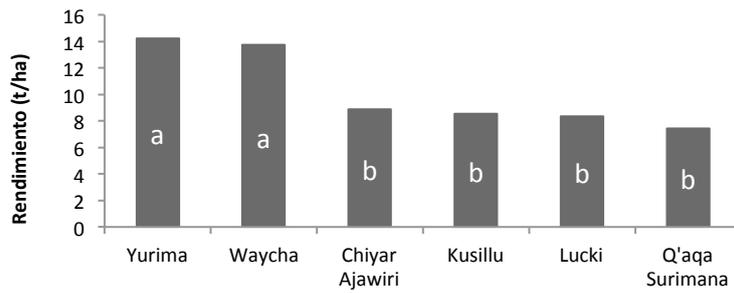
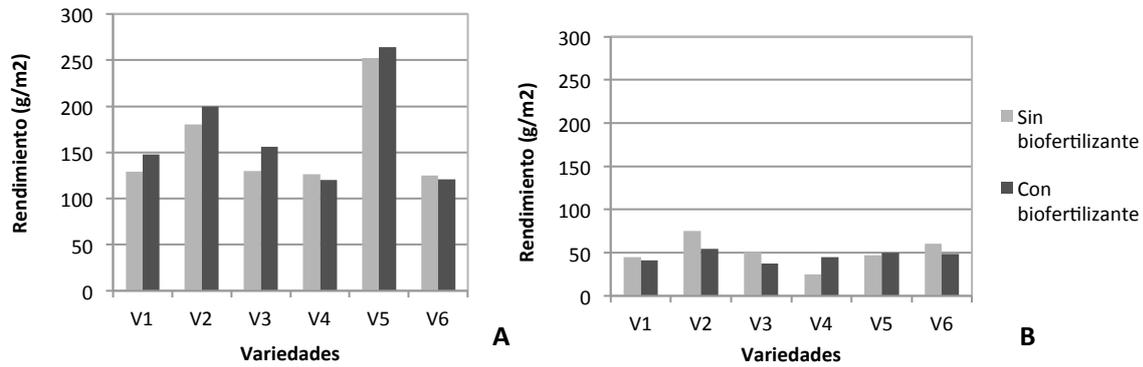


Figura 10. Rendimiento de papa con y sin biofertilizantes A: Primera época y B: Segunda época de siembra, en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012



Donde: V1=Kusillu, V2=Yurima, V3=ChiyarAjawiri, V4=Q'aqaSurimana, V5=Waycha y V6=Lucki

Figura 11. Temperatura ambiente durante el ciclo del cultivo de papa en el Altiplano Norte, Cariquina grande –La Paz. 2011-2012

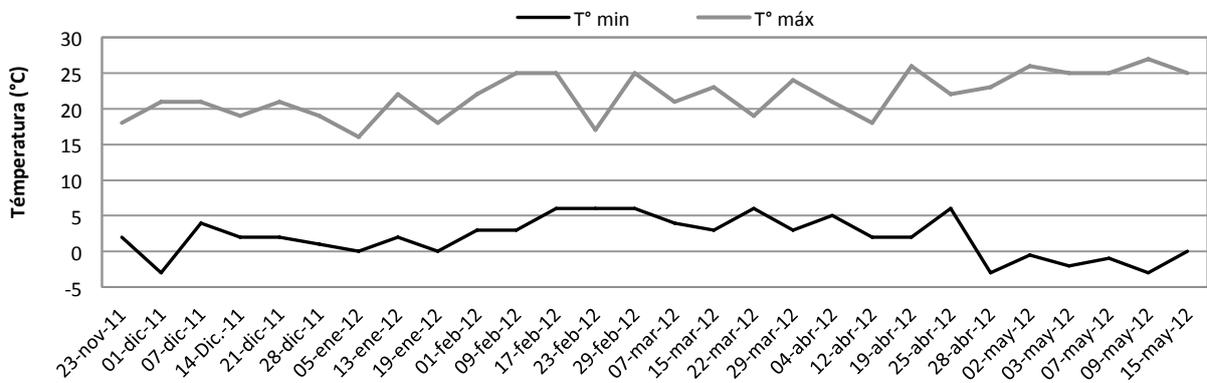


Figura 12. Severidad por helada en 15 cultivares nativos de papa en la zona de Waylla Pujro, Tiraque - Cochabamba. Año 2012

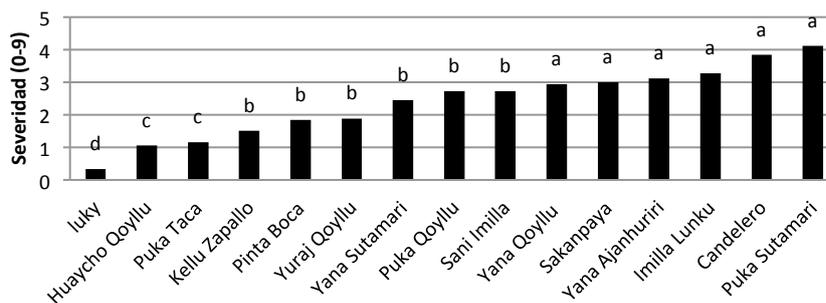


Figura 13. Regresión lineal entre severidad por helada y rendimiento en 15 cultivares nativos de papa evaluados en la zona de Waylla Pujro, Tiraque -Cochabamba. Año 2012

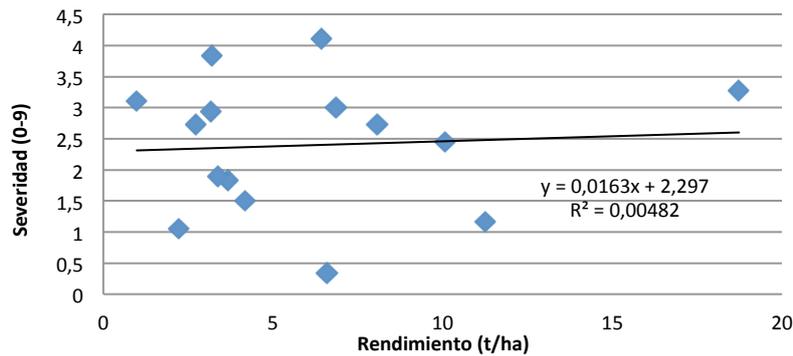


Figura 141. Regresión lineal entre severidad por helada y número de tubérculos en 15 cultivares nativos de papa evaluados en la zona de Waylla Pujro, Tiraque -Cochabamba. Año 2012

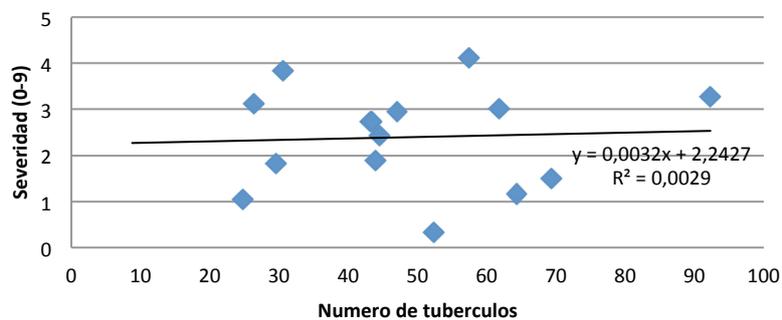


Figura 15. Número de tubérculos para tres niveles de corte de follaje en 15 cultivares nativos de papa junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujro, Tiraque -Cochabamba. Año 2012

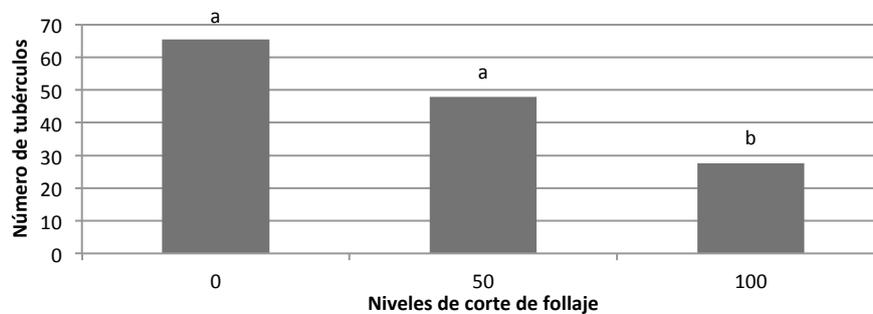


Figura 16. Rendimientos (t/ha) para tres niveles de corte de follaje en 15 cultivares nativos de papa junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujro, Tiraque -Cochabamba. Año 2012

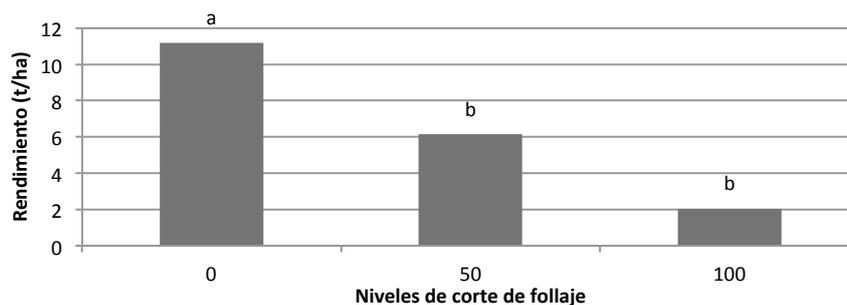


Figura 17. Número de tubérculos para 15 cultivares nativos sometidos al 50% de corte de follaje junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). Año 2012

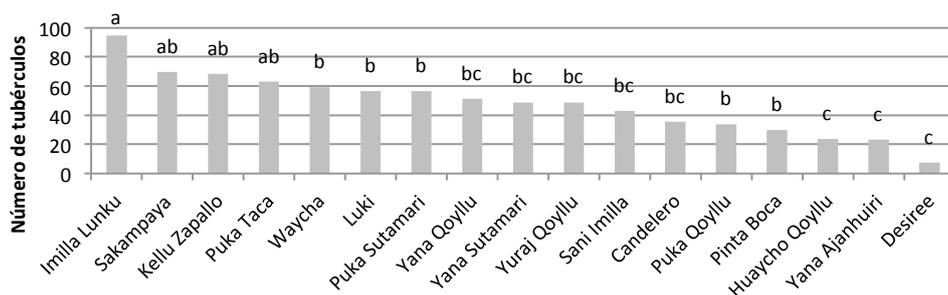


Figura 18. Número de tubérculos para 15 cultivares nativos sometidos al 100% de corte de follaje junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012

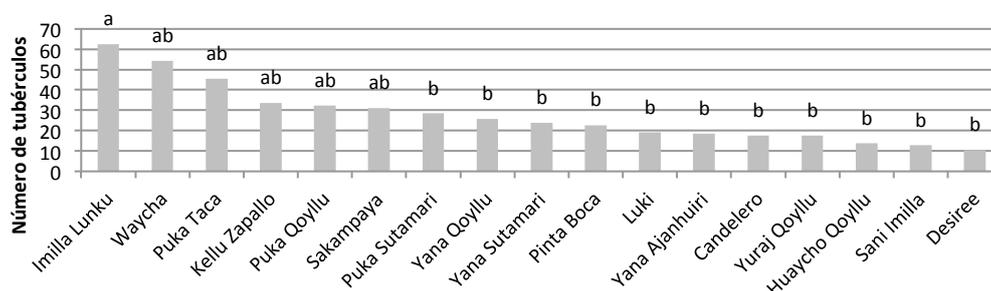


Figura 19. Rendimiento para 15 cultivares nativos de papa sometidos al 50% de corte de follaje junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012

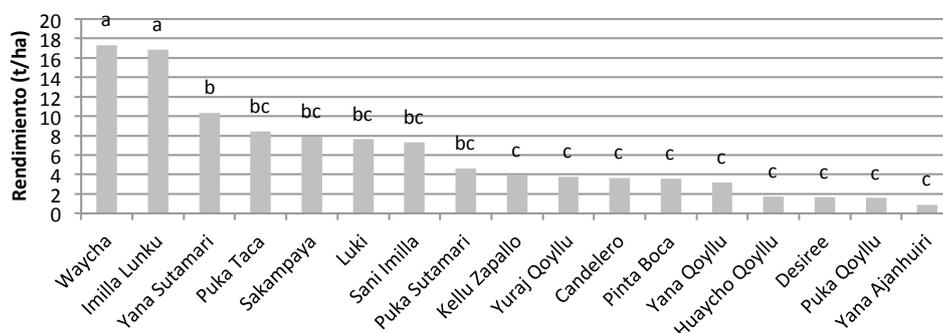


Figura 20. Rendimiento para 15 cultivares nativos de papa sometidos a 100% de corte de follaje junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012

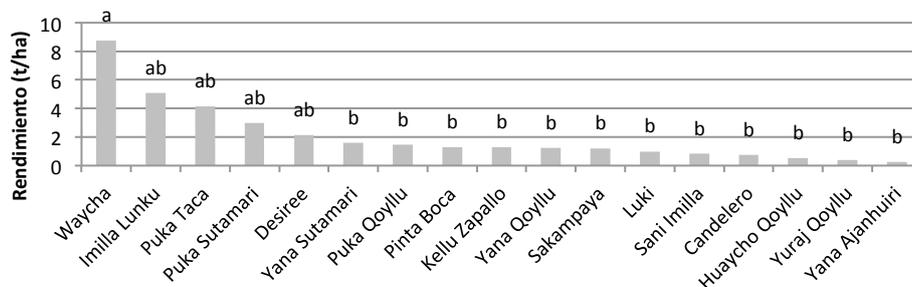


Figura 21. Número de tubérculos bajo tres diferentes niveles de corte de follaje para 15 variedades nativas junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012

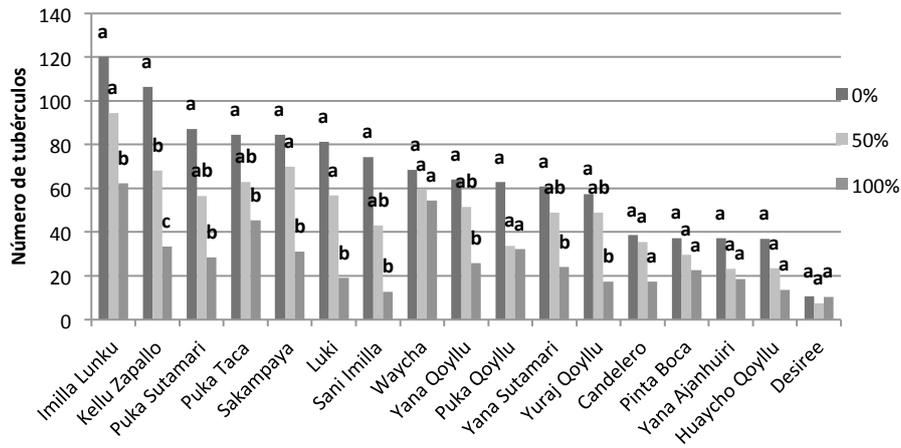


Figura 22. Rendimiento (t/ha) bajo tres diferentes niveles de corte de follaje para 15 variedades nativas junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012

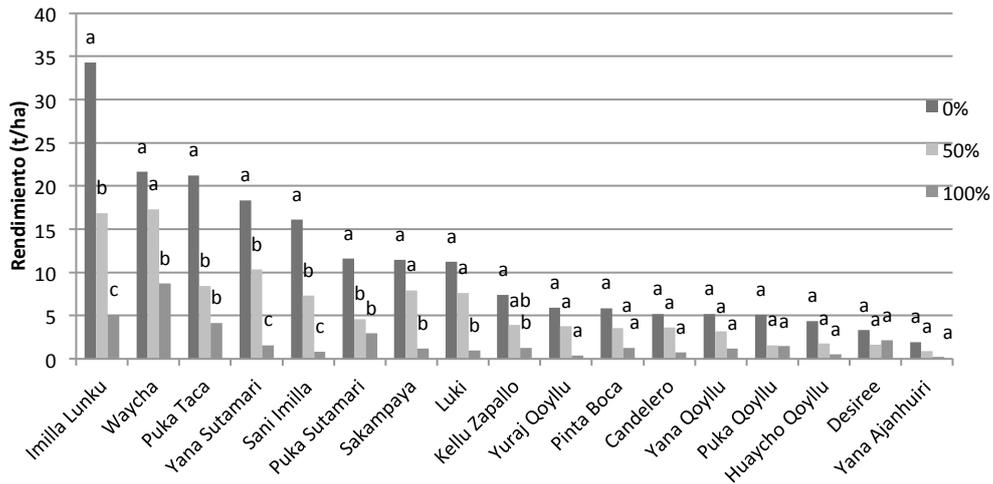


Figura 23. Número de tubérculos potencial para 15 variedades nativas junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012

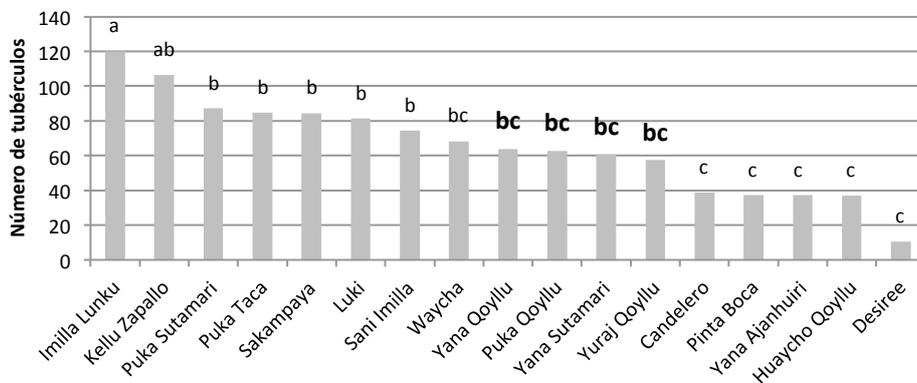


Figura 24. Rendimiento (t/ha) potencial para 15 variedades nativas junto a dos testigos en la zona de Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba) Año 2012.

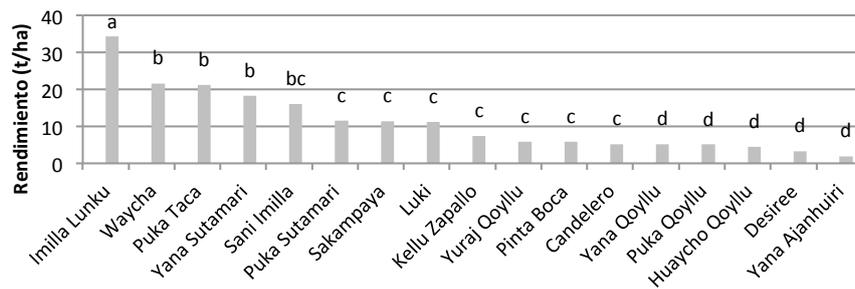


Figura 25. Promedios de altura de las variedades de papa nativa, tratadas con biofertilizante foliar Vigortop en Coromata – La Paz, 2012-2013

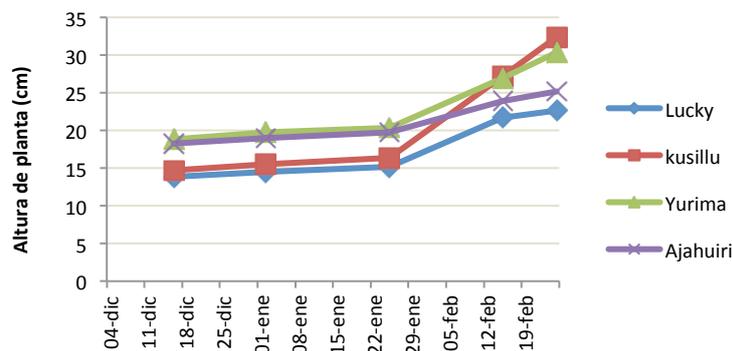


Figura 26. Promedios de altura de la planta de las variedades de papa nativa sin aplicación de Vigortop (Sin Bioinsumos) en Coromata – La Paz, 2012-2013

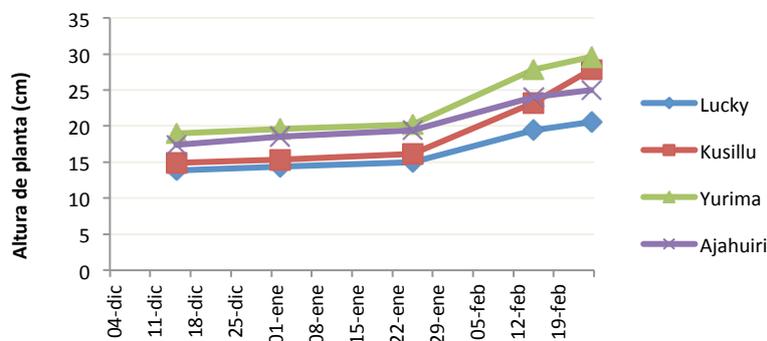
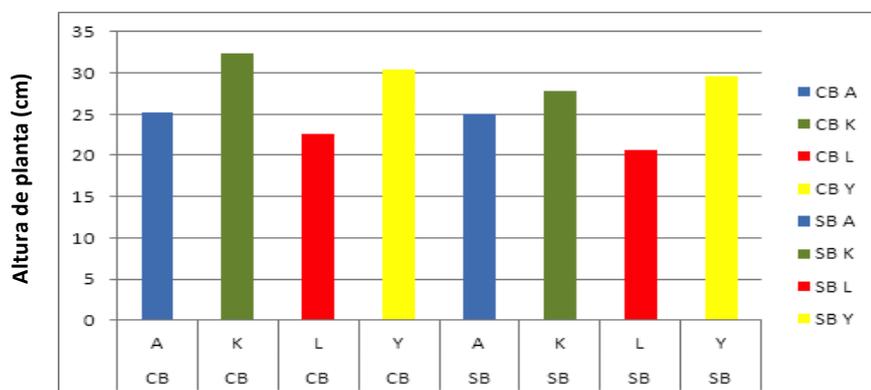
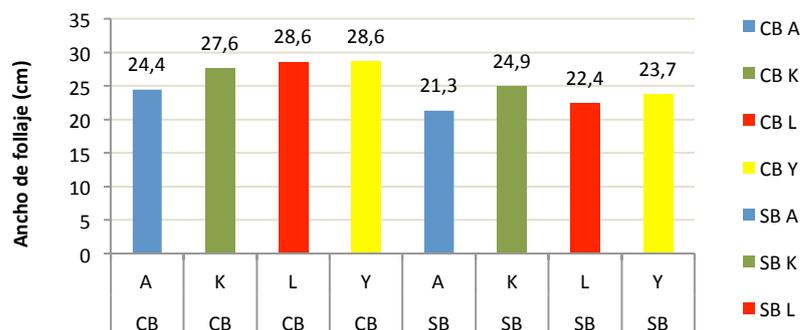


Figura 27. Grafica del efecto de interacción de la altura en las cuatro variedades de papa nativa para la altura de planta en Coromata-La Paz. 2012-2013



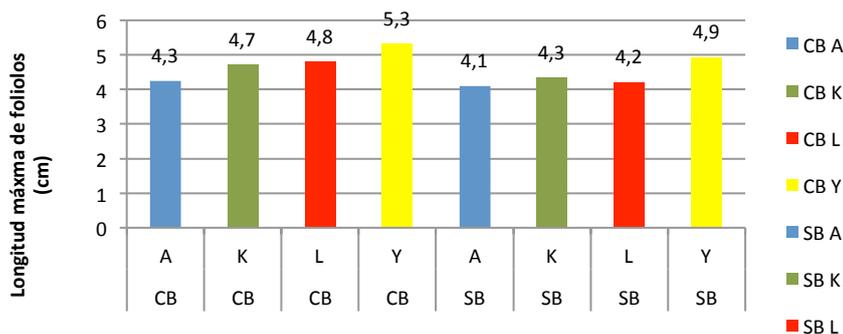
CBA=Con Bioinsumos Ajahuiri, CBK=Con Bioinsumos Kusillo, CBL=Con Bioinsumos Lucky, CBY=Con Bioinsumos Yurima. SBA=Sin Bioinsumos Ajahuiri, SBK=Sin Bioinsumos Kusillo, SBL=Sin Bioinsumos Lucky, SBY=Sin Bioinsumos Yurima

Figura 28. Grafica del efecto de interacción entre tratamientos y variedades de papa nativa para el area foliar en Coromata-La Paz. 2012-2013



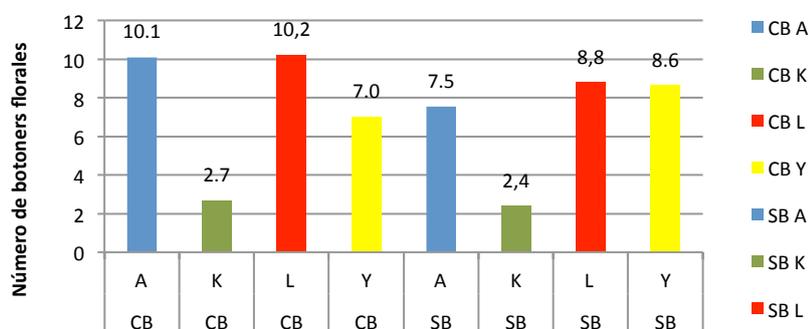
CBA=Con Bioinsumos Ajahuiri, CBK=Con Bioinsumos Kusillo, CBL=Con Bioinsumos Lucky, CBY=Con Bioinsumos Yurima.
SBA=Sin Bioinsumos Ajahuiri, SBK=Sin Bioinsumos Kusillo, SBL=Sin Bioinsumos Lucky, SBY=Sin Bioinsumos Yurima

Figura 29. Grafica del efecto de interacción entre tratamientos y variedades de papa nativa para la variable longitud de foliolos en Coromata-La Paz. 2012-2013



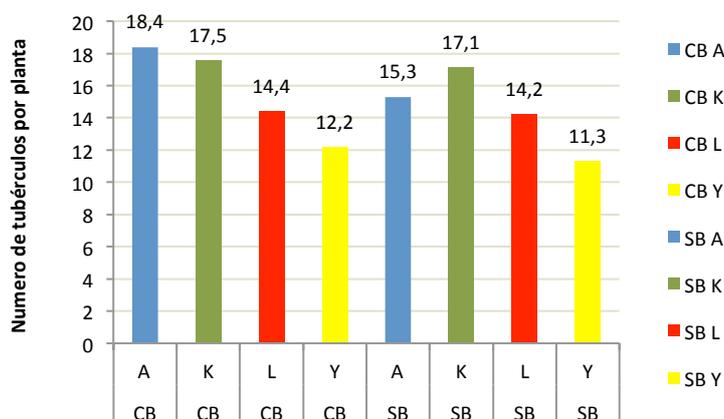
CBA=Con Bioinsumos Ajahuiri, CBK=Con Bioinsumos Kusillo, CBL=Con Bioinsumos Lucky, CBY=Con Bioinsumos Yurima.
SBA=Sin Bioinsumos Ajahuiri, SBK=Sin Bioinsumos Kusillo, SBL=Sin Bioinsumos Lucky, SBY=Sin Bioinsumos Yurima

Figura 30. Grafica del efecto de interacción entre tratamiento y variedades para el número de botones florales en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013



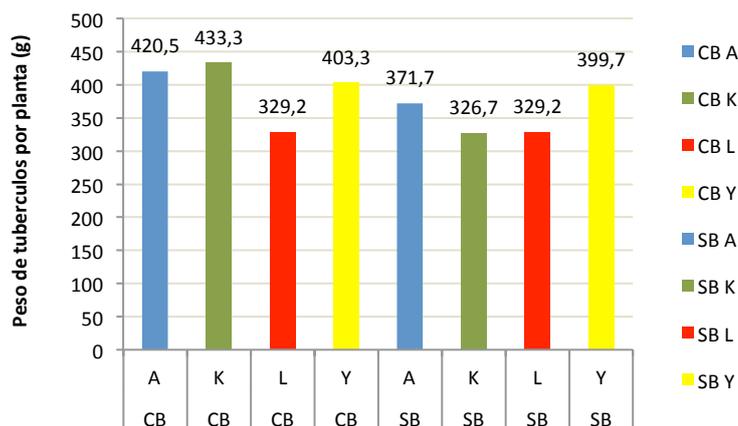
CBA=Con Bioinsumos Ajahuiri, CBK=Con Bioinsumos Kusillo, CBL=Con Bioinsumos Lucky, CBY=Con Bioinsumos Yurima.
SBA=Sin Bioinsumos Ajahuiri, SBK=Sin Bioinsumos Kusillo, SBL=Sin Bioinsumos Lucky, SBY=Sin Bioinsumos Yurima

Figura 31. Grafica del efecto de interacción de tratamiento y variedades para el número de tubérculos por planta en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013



CBA=Con Bioinsumos Ajahuiri, CBK=Con Bioinsumos Kusillo, CBL=Con Bioinsumos Lucky, CBY=Con Bioinsumos Yurima.
SBA=Sin Bioinsumos Ajahuiri, SBK=Sin Bioinsumos Kusillo, SBL=Sin Bioinsumos Lucky, SBY=Sin Bioinsumos Yurima

Figura 32. Efecto de interacción de los tratamientos y las variedades para el rendimiento en peso de tubérculos por planta en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013



CBA=Con Bioinsumos Ajahuiri, CBK=Con Bioinsumos Kusillo, CBL=Con Bioinsumos Lucky, CBY=Con Bioinsumos Yurima.
SBA=Sin Bioinsumos Ajahuiri, SBK=Sin Bioinsumos Kusillo, SBL=Sin Bioinsumos Lucky, SBY=Sin Bioinsumos Yurima

Figura 33. 0% de corte con Bioinsumos en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

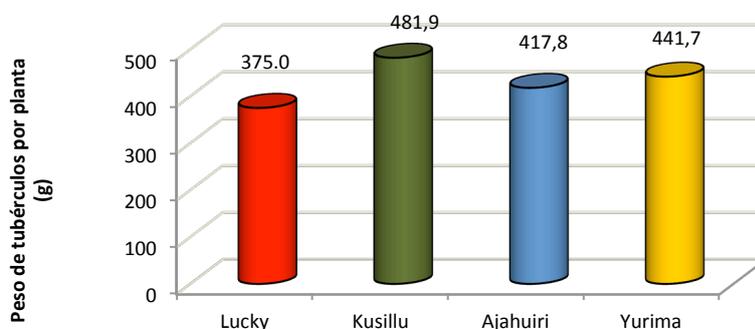


Figura 34. 50% de corte con Bioinsumos en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

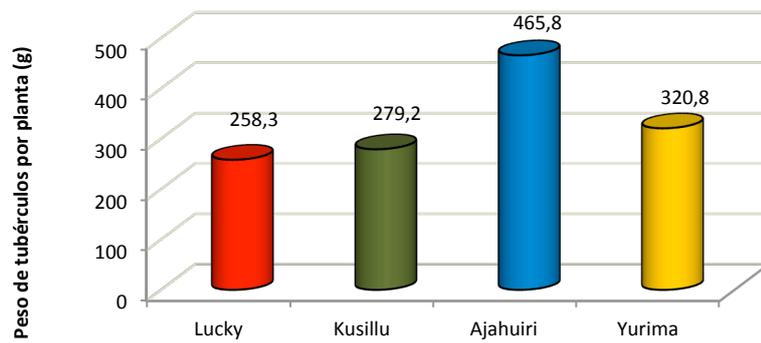


Figura 35. 100% de corte con Bioinsumos en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

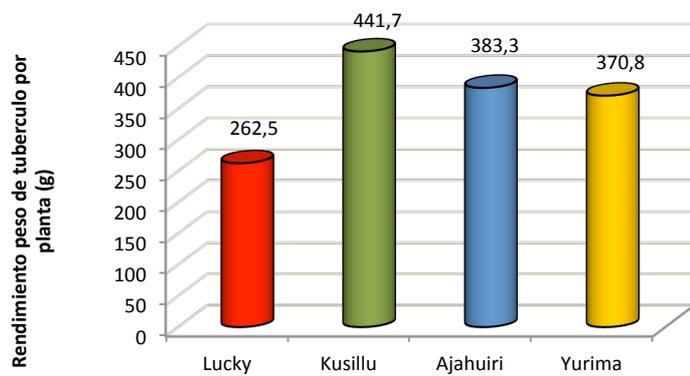


Figura 36. 0% de corte sin Bioinsumos en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

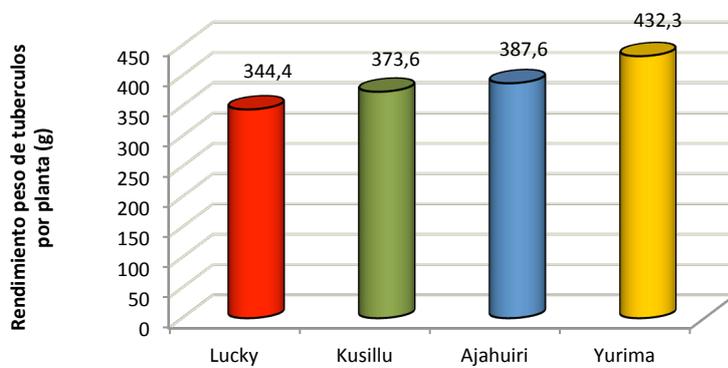


Figura 37. 50% de corte sin Bioinsumos en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

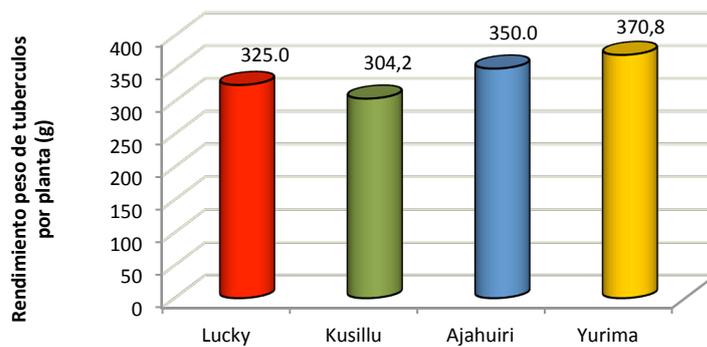


Figura 38. 100% de corte sin Bioinsumos en cultivares de papa nativa en Coromata – La Paz. 2012-2013

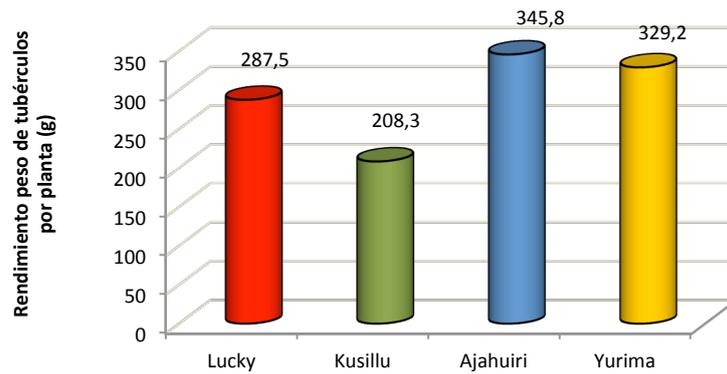


Figura 39. Medias para número de tubérculos/ha y rendimiento (t/ha) en cuatro variedades diploides de papa nativa sometidas a la aplicación de bioinsumo para contrarrestar la pérdida de follaje ocasionada por tres tratamientos de corte de follaje en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013

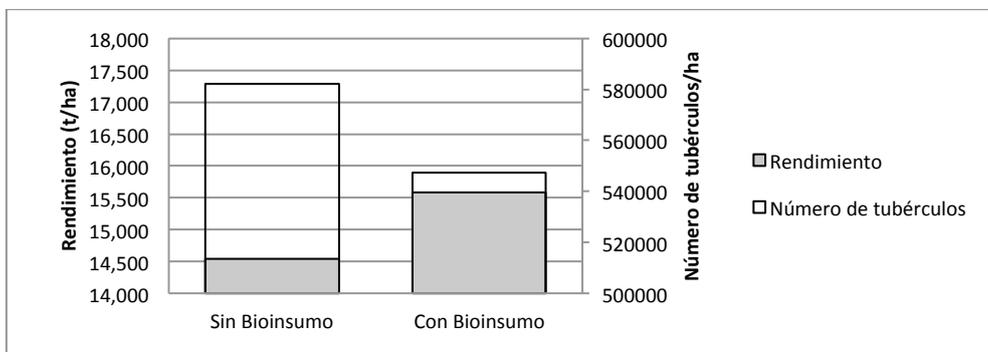


Figura 40. Número de tubérculos/ha para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) aplicados en cuatro variedades diploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

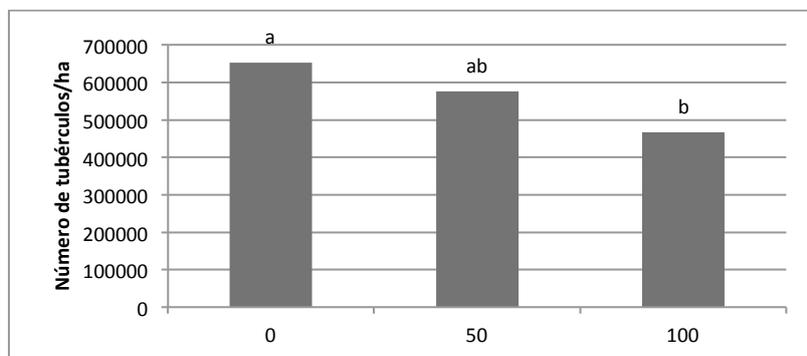


Figura 41. Rendimiento (t/ha) para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) aplicados en cuatro variedades diploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

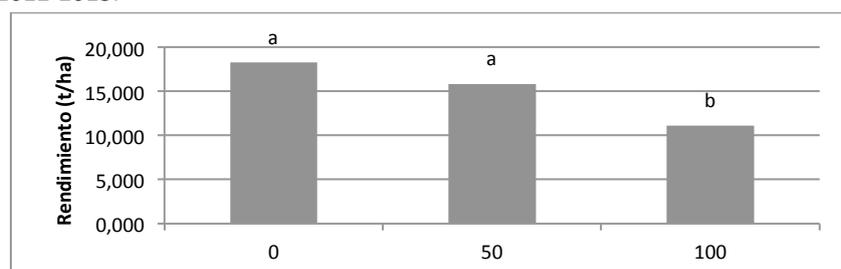


Figura 42. Número de tubérculos/ha para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) combinados con dos tratamientos de aplicación de bioinsumo para contrarrestar el efecto de pérdida de follaje aplicados en cuatro variedades diploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

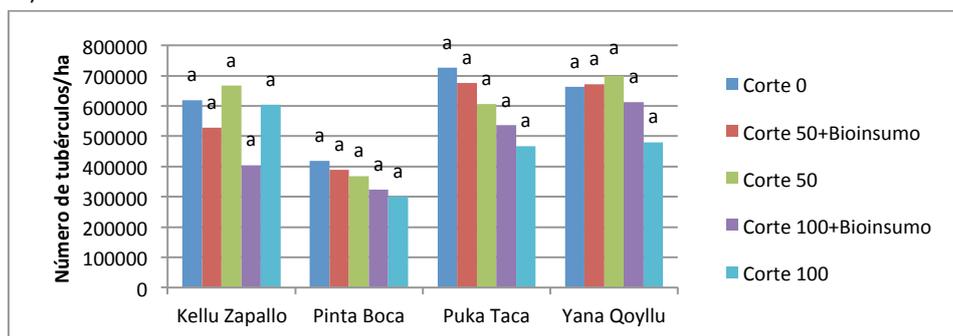


Figura 43. Rendimiento (t/ha) para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) combinados con dos tratamientos de aplicación de bioinsumo para contrarrestar el efecto de pérdida de follaje aplicados en cuatro variedades diploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

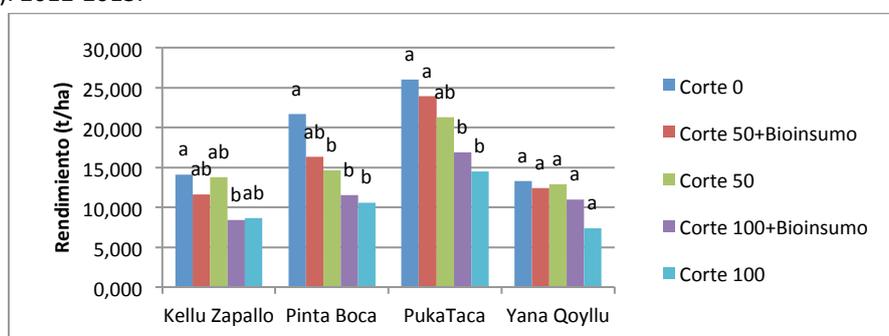


Figura 44. Medias para número de tubérculos/ha en cuatro variedades tetraploides de papa nativa sometidas a la aplicación de bioinsumo para contrarrestar la pérdida de follaje ocasionada por tres tratamientos de corte de follaje en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

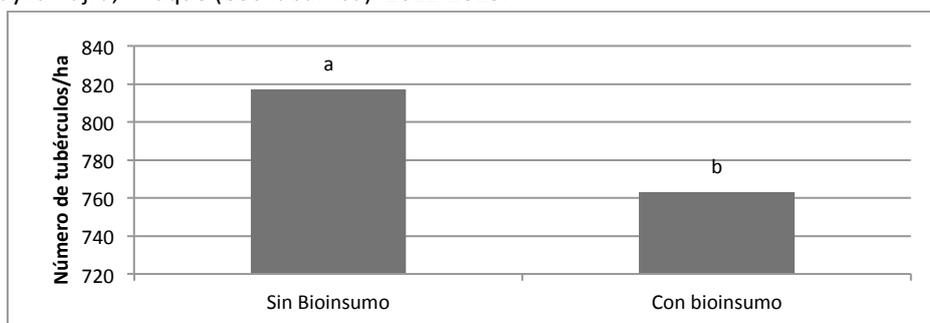


Figura 45. Medias para Rendimiento (t/ha) en cuatro variedades tetraploides de papa nativa sometidas a la aplicación de bioinsumo para contrarrestar la pérdida de follaje ocasionada por tres tratamientos de corte de follaje en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

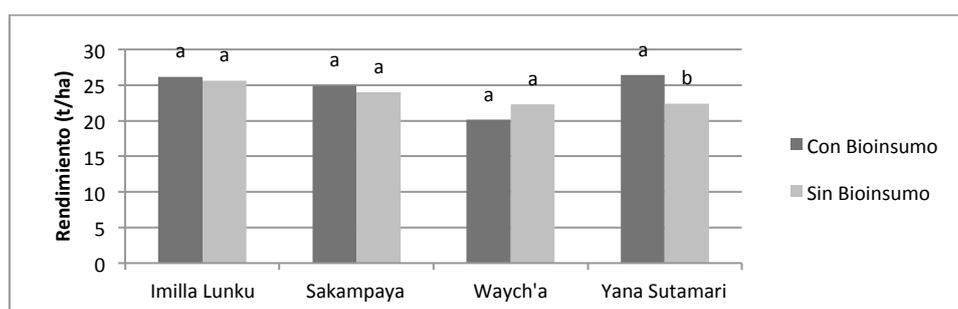


Figura 46. Número de tubérculos/ha para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) aplicados en cuatro variedades tetraploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

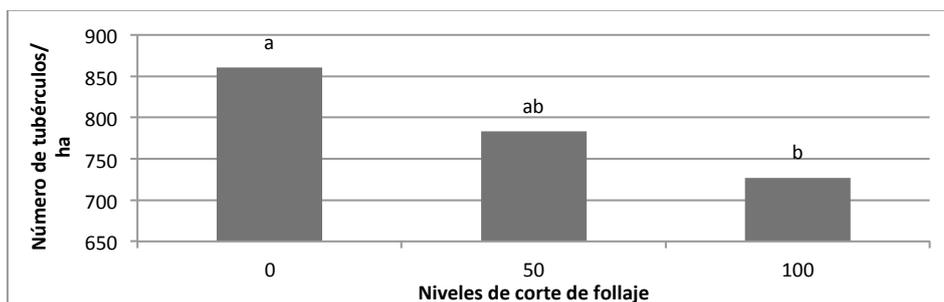


Figura 47. Rendimiento (t/ha) para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) aplicados en cuatro variedades tetraploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

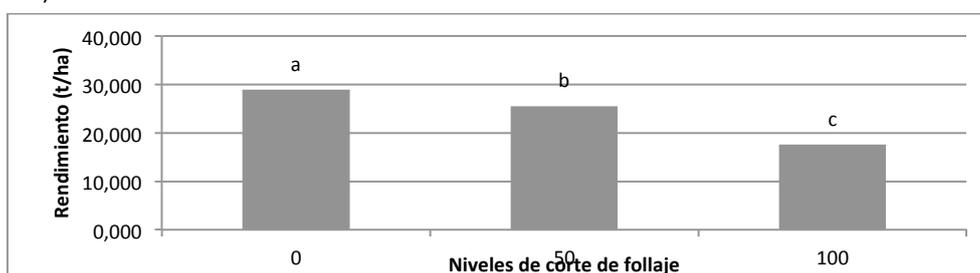


Figura 48. Número de tubérculos/ha para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) combinados con dos tratamientos de aplicación de bioinsumo para contrarrestar el efecto de pérdida de follaje aplicados en cuatro variedades tetraploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.

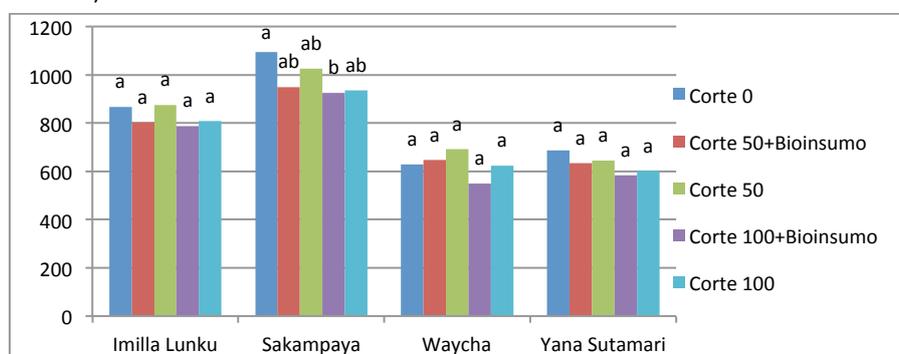
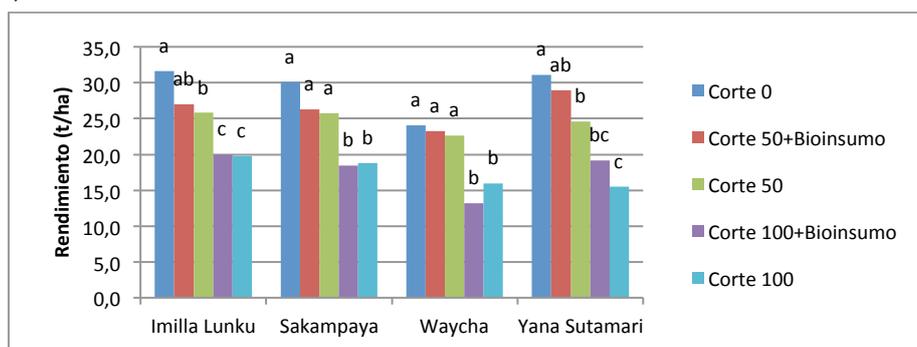


Figura 49. Rendimiento (t/ha) para tres tratamientos de corte de follaje como efecto de simulación de helada (0, 50 y 100 %) combinados con dos tratamientos de aplicación de bioinsumo para contrarrestar el efecto de pérdida de follaje aplicados en cuatro variedades tetraploides de papa nativa en Waylla Pujru, Tiraque (Cochabamba). 2012-2013.



Identificación y evaluación de cultivares de papa nativa con tolerancia a sequía en Bolivia

Eliseo Mamani²¹, Ronnie Mamani²¹, Giulia Baldinelli²¹, Bruno Condori²¹, Diego Chirino²¹, Julio Cesar Ancari²¹, Milton Pinto²¹, Juana Flores²¹, Alejandro Bonifacio²¹, Wilfredo Rojas²², Rhimer González²³, Jury Magne²³, Ada Angulo²³, Julio Gabriel²³, Noel Ortuño²³ y Ximena Cadima²⁴

Resumen

Con el propósito de identificar y evaluar variedades de papa locales con tolerancia a sequía se llevaron a cabo ensayos en el Altiplano Norte de La Paz (durante tres años consecutivos) y en la zona de puna de Cochabamba (dos años consecutivos). En el primer año agrícola (2010-2011) en el Altiplano Norte de La Paz, en Jutilaya (Cariquina) se evaluaron 12 variedades nativas locales con tolerancia a sequía y se seleccionó a Kusillo como la más resistente y a Yurima, Qaqa surimana, Waycha, Chiyara k'awiri y Sakampaya como las de mayor tolerancia a sequía. En el segundo año nuevamente en Jutilaya (Cariquina) se evaluó este material seleccionado implementando la aplicación de un bioinsumo para contrarrestar el efecto de la sequía. El bioinsumo aplicado no tuvo efecto ni en la altura ni en la cobertura foliar de las plantas afectadas por sequía. Sin embargo, sí tuvo efecto en el rendimiento (menor reducción bajo sequía). Las variedades Sakampaya, Waycha, Yurima y Kusillo mostraron buena resistencia y/o tolerancia al efecto de la sequía. En el tercer año se evaluaron las anteriores cuatro variedades en la estación experimental de Quipaquipani en Viacha (Altiplano Norte) bajo el efecto de tres bioinsumos para contrarrestar el efecto de la sequía. El ensayo sin embargo sufrió severamente por una helada inesperada, lo cual provocó variaciones profundas en las variables evaluadas. Sakampaya fue la variedad con mayor número y peso de tubérculos bajo sequía. Yurima y Waycha fueron las variedades con mayor volumen y peso individual de tubérculo bajo sequía.

En el segundo año agrícola (2011-2012) en Kewiñal, Sacaba (Cochabamba) se evaluó el efecto de tres bioinsumos en la respuesta a sequía de 15 variedades nativas (locales y del Norte de Potosí) con tolerancia a sequía. La variedad Yuraj Ajanhuiri mostró la mayor resistencia y las variedades Yana Sutamari, Puka Taca, Imilla Lunku, Sakampaya y Waycha la mayor recuperación y rendimiento después de un periodo de sequía. El bioinsumo gallinaza redujo la severidad e incremento la capacidad de recuperación y el rendimiento bajo condiciones de sequía. La materia seca de follaje y la longitud de raíz fueron las variables que mostraron mayor correlación con el rendimiento bajo sequía. En el segundo año se evaluó el efecto de tres tratamientos de sequía en nueve de las 15 variedades. Estas fueron seleccionadas en base a su tolerancia a sequía y heladas (se realizó un ensayo simultáneo con las 15 variedades para tolerancia a heladas en la gestión anterior). La sequía disminuyó el número de hojas y la cobertura foliar. Las variedades que obtuvieron mayor grado de resistencia y recuperación fueron Sakampaya, Yana Sutamari, Waycha, Imilla Lunku y Puka Taca. Solo la variedad Waycha obtuvo el mayor rendimiento bajo sequía. La capacidad de recuperación y el contenido relativo de agua estuvieron alta y negativamente asociados con la resistencia y la altura de planta alta y positivamente con el rendimiento.

Introducción

La diversidad de especies y cultivares de papa producidos generación tras generación por nuestros ancestros, es actualmente conservada en sus lugares de origen, en micro-centros de diversidad in situ por familias aymaras y quechuas, principalmente. Así la región del Altiplano Norte de la Paz que abarca los municipios de Puerto Acosta, Mocomoco y Carabuco de la provincia Camacho, habitado mayormente por aymaras, son custodios espontáneos de la amplia diversidad de papas, asignando connotaciones multidimensionales en su diario vivir (Iriarte *et al.*, 2009).

Se ha visto que las papas nativas se conservan en un número elevado de variedades en casi todos los departamentos productores de papa. Sin embargo esta herencia genética y cultural esta siendo afectado por el cambio climático en las comunidades campesinas, haciendo que poco a poco se pierda material vegetativo y con ello la identidad cultural del país, suponiendo un riesgo para la seguridad alimentaria nacional (Zeballos *et al.*, 2009).

²¹ Investigadores Fundación PROINPA – La Paz

²² Coordinador Regional Fundación PROINPA – La Paz

²³ Investigadores Fundación PROINPA - Cochabamba

²⁴ Responsable proyecto, Fundación PROINPA

Como la papa se propaga sobre todo vegetativamente, casi todas las variedades comerciales de papa tienen una limitada capacidad de florecer y los mejoradores no seleccionan las características que hacen que las flores atraigan a los polinizadores. Sin embargo, la polinización natural de la papa sigue siendo importante para sustentar la diversidad de las variedades nativas (CIP, 2008).

En los Andes de Bolivia, los agricultores aún conservan muchos cultivares nativos de las ocho especies conocidas, las mismas que son usadas para su alimentación y seguridad alimentaria. Sin embargo, poco se conoce acerca de los atributos de resistencia a los factores bióticos y abióticos que afectan a la papa y menos aun se han utilizado en los programas de mejora genética de papa en el mundo (Estrada, 2000).

Es claro que las variedades producidas comercialmente en Bolivia, son de bajo rendimiento, cultivados en nichos particulares, y afectados por diversos factores restrictivos importantes como por ejemplo el tizón (*Phytophthora infestans*), los nematodos (*Globodera* sp., y *Nacobbus aberrans*), la polilla (*Symmetrichema tangolias*), la sequía y las heladas (Gabriel, 2010).

El factor clima es determinante en los procesos de producción agrícola, particularmente en el Altiplano, que está sujeto a fluctuaciones climáticas por la ubicación geográfica, por ende está sometido a sequedad de aire, efecto severo a heladas y granizadas, vientos, sequías e inundaciones (Hijmans et al. 2003).

La sequía es uno de los factores abióticos que más afecta en Bolivia. El INE (2008) reportó 351 casos de sequía en el año 2002 y 651 casos en el año 2007. Así mismo, la misma fuente (INE, 2008) reportó 7.043 familias afectadas por la sequía en el año 2002 y 37.638 familias afectadas en el año 2007. Estos incrementos de casos y familias afectadas por sequía probablemente se deban a un cambio de clima. Por lo que la sequía es una limitante que ejerce el medio ambiente sobre la producción de papa en las áreas tradicionales de cultivo, influyendo en el desarrollo del mismo y causando pérdidas de rendimiento y calidad de tubérculos (Ekanayake, 1993).

La disminución de la humedad del suelo producida por las sequías, son producto del calentamiento global y se expresan en la reducción del régimen pluviométrico, presencia de olas de calor y disminución de nevadas, también interactúan variables naturales como: altas temperaturas y vientos fuertes. Existen la sequía hidrológica y la agrícola, la primera es la más drástica porque afecta el balance hidrológico anual hasta reducir los niveles de la napa freática. La segunda afecta el crecimiento y desarrollo de un cultivo, alterando sus principales funciones en una o más etapas fenológicas (Gandarillas y Ortuño, 2009).

Ante las adversidades del cambio climático, las plantas han desarrollado mecanismos de defensa, tales como: 1. Resistencia, una variedad es resistente cuando soporta un verdadero estrés hídrico, es decir, cuando a nivel intercelular existe una reducción del contenido de agua y por consiguiente se incrementa la concentración de los fluidos y del jugo celular respectivamente, lo que somete al protoplasma al estrés; 2. Tolerancia, una variedad es tolerante porque tiene la capacidad de tolerar niveles avanzados de deshidratación debido a cambios en su comportamiento que le permiten compensar el déficit de humedad; y 3. Evasión o escape, es la habilidad de algunas plantas a escapar por su precocidad o el crecimiento de sus raíces para la exploración de agua a mayores profundidades (Gandarillas y Ortuño, 2009).

Mamani (2000) encontró que el efecto de una sequía temprana (sequía pre-tuberización) ocasionaba tubérculos más pequeños tanto en variedades sensibles como en tolerantes en referencia a una sequía tardía (sequía aplicada un mes después de la tuberización).

Miller y Martin (1987) encontraron que en un contexto de sequía muy marcada, la papa amarga Luki (*Solanum x juzepczukii*) mostró un mejor comportamiento que la papa dulce Sani Imilla (*S. andigena*). Esta mejor adaptación a la sequía, es debida probablemente a un sistema radicular más desarrollado que le permite extraer con más fuerza el agua del suelo.

Ceccarelli (1984) menciona que para enfrentar el problema de sequía, existen dos alternativas: optimizar el uso de agua y/o generar variedades genéticamente resistentes y/o tolerantes a sequía. La opción concerniente al manejo del agua se aplica específicamente para cultivos bajo riego. En cambio, para los suelos a secano, se contaría únicamente con la opción genética que permitiría lograr rendimientos estables en condiciones de ambientes contrastantes. Para la obtención de variedades resistentes y/o tolerantes a sequía se requiere del uso de germoplasma con estas características.

Se postula que una buena nutrición ayuda a sobrellevar condiciones de estrés. De igual modo, permitiría al cultivo recuperar de manera más rápida su tasa normal de crecimiento ante una adversidad puntual, a causa de

la mayor abundancia de recursos y área foliar remanente una vez pasado el evento desfavorable (Ferraris y Ponsa 2008).

El uso de bioinsumos parece ser una alternativa interesante para contrarrestar el efecto causado por el estrés hídrico por sequía y/o heladas, porque ayudaría a una recuperación acelerada de las plantas y permitiría la producción de mejores y más sanas cosechas. En este sentido instituciones como PROINPA, BIOTOP, PLAGBOL, PROBIOMA, etc. Están trabajando en el desarrollo de bioinsumos que permitan mejorar la estructura del suelo y repoblar los suelos con microorganismos benéficos que en simbiosis con las plantas, logren mejores y más sanas cosechas; que además ayudaría a la conservación del suelo y disminuiría el efecto en el medio ambiente porque se reduciría el uso de fertilizantes sintéticos.

Así por ejemplo, Ortuño *et al.* (2010) mencionan que las micorrizas facilitan la absorción de agua del suelo y del fósforo. Las bacterias del tipo *Bacillus*, son promotores de crecimiento de la planta; que además las protegen de patógenos y permiten establecer una simbiosis haciendo que las plantas sean vigorosas y de mejor rendimiento. También el uso de abonos orgánicos como el humus de lombriz y gallinaza tienen mayores beneficios sobre el crecimiento de los cultivos respecto a otros abonos orgánicos.

Materiales y métodos

Gestión 2010-2011

1. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas frente a los riesgos climáticos en la comunidad Cariquina grande (La Paz)

En la investigación se evaluaron 12 cultivares de papa nativa de las especies *Solanum andigena*, *S. x ajahuiri*, *S. stenotomum*, *S. phureja* y *S. x juzeczuckii*, la primera especie es representada por las variedades Waycha y Sacampaya, la segunda por Janq'u k'awiri y Chiyara k'awiri, la siguiente por Kusillu, Yurima, Qaqa surimana, Chiyara phiñu, Runtu papa y Q'illu puya, la penúltima por Phureja y la última por la Lucki. Entre los materiales de campo se utilizaron guano de animales, yutes, balanzas, estacas, nilones, flexómetros, cupañas, bolsas plásticas, cilindros, chontillas, picotas, termómetros, GPS (Sistema de Posicionamiento Global), aro de 56 cm de diámetro, cuerdas y cámara digital.

En un taller bajo la participación de los miembros de la comunidad se procedió con la identificación de los cultivares nativos con cierto grado de rusticidad a efectos climáticos adversos como la sequía. Esta información fue corroborada mediante el uso de planillas con encuesta dirigida a informantes clave.

Después de la identificación de cultivares nativos que presentan grados resistencia a sequía se realizó la recolección de la semilla de diferentes familias, hasta lograr la cantidad suficiente para los ensayos.

Los tratamientos de sequía fueron con cubierta plástica y sin cubierta, este ensayo se llevo a cabo en la comunidad de Jutilaya a 3992 msnm, en la meseta de dicha comunidad, ambas comunidades son pertenecientes al distrito Cariquina.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó un Diseño Bloques al Azar con tres repeticiones con arreglo en parcelas divididas, donde se tomo como factor A, el estrés hídrico y como factor B a las 12 variedades.

El Modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \delta_j + \alpha\delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

X_{ijkl} =Una Observación

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-esimo nivel del factor A

ε_{ik} = Error experimental de la parcela mayor (Ea)

δ_j = Efecto del j-esimo nivel del factor B

$\alpha\delta_{ij}$ = Efecto del i-esimo nivel del factor A, con el j-esimo nivel del factor B (Interacción AxB)

ε_{ij} = Error experimental de la parcela menor (Eb)

Los factores de estudio fueron los siguientes:

Factor A: Estrés hídrico para la evaluación de sequía

a1: Con cubierta plástica

a2: Sin cubierta plástica

Factor B: Variedades de papa para las evaluaciones de sequía

- b1: Kusillu (*Solanum Stenotomum*), grupo varietal Khaty.
- b2: Q'illu puya (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.
- b3: Runtu papa (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty
- b4: Qaqa surimana (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.
- b5: Chiyara phiñu (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.
- b6: Phureja (*Solanum phureja*), grupo varietal Khaty.
- b7: Janq'u K'awiri (*Solanum x ajahuiri*), grupo varietal Khaty, sub grupo K'awiri.
- b8: Chiyara K'awiri (*Solanum x ajahuiri*), grupo varietal Khaty, sub grupo K'awiri.
- b9: Yurima (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Khaty.
- b10: Sacampaya (*Solanum andigena*), grupo varietal Khaty.
- b11: Waych'a (*Solanum andigena*), grupo varietal Imillas.
- b12: Lucki (*Solanum x juzepczukii*), grupo varietal luckis.

La combinación de los diferentes tratamientos se presenta en la Tabla 1.

Gestion 2011-2012

2. Evaluación de seis variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum L.*), con aplicación de bioinsumo bajo condiciones de déficit hídrico en la comunidad de Jutilaya, provincia Camacho (La Paz).

El estudio se efectuó en la comunidad de Jutilaya, dependiente del Municipio de Mocomoco, de la provincia Camacho del departamento de La Paz. Geográficamente se sitúa a 15°33'14.05" latitud Sur, 69°04'46.01" longitud Oeste y una altitud de 3980 m. Las temperaturas oscilan de 3 a 15 °C, y algunas extremas por debajo de los 0 °C, y la precipitación anual supera los 700 mm.

Para el estudio se utilizaron seis variedades de papa nativa: Kusillu, Yurima y Q'aqa Surimana que corresponden a la especie *Solanum stenotomum*, Ch'iyarAjawiri a *Solanum ajanhuiri*, y Sacampaya y Waycha (*Solanum tuberosum ssp. andigena*). La siembra de las variedades se realizó el 11 de noviembre de 2011, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, los factores de estudio, fueron: Factor A Estrés hídrico (Con y sin estrés hídrico); Factor B Variedades de papa; y Factor C Aplicación de Bioinsumos (con y sin bioinsumos).

La siembra se realizó el 11 de noviembre de 2012, en una superficie 600 m², siendo cada tratamiento con y sin Estrés hídrico plástica de 270 m², repetición bloque abarcó 90 m², y la unidad experimental de 15 m², con distancia entre surcos 0.60 m y 0.25 m entre plantas. La siembra por unidad experimental fue a razón 5 surcos de 5 m de largo, con 10 tubérculos por surco, haciendo 50 tubérculos por unidad experimental.

A los 80 días de la siembra y con las plantas iniciando tuberización, se interrumpió las precipitaciones en uno de los tratamientos (llamada en el estudio con Estrés hídrico plástica) a fin de someter a las plantas a un período de 50 días de estrés hídrico, en tanto que las plantas sin Estrés hídrico continuaban recibiendo lluvias normales. Pasada el período de estrés hídrico (50 días) las plantas retomaron las lluvias al levantar el Estrés hídrico instalada (Fig. 1). Durante los 50 días del período de estrés y 15 días del periodo de recuperación, fueron realizadas las mediciones de tolerancia y resiliencia a la helada. La cubierta fue construida con madera y plástico e instalada a una altura de 1.5 m desde la base del suelo.

En el estudio se registraron las siguientes variables: Agronómicas (altura de planta, cobertura foliar, rendimiento, número de tubérculos por planta, tamaño de tubérculos, peso de tubérculos, capacidad de tolerancia de las plantas al estrés hídrico "reacción a sequía" y grado de resiliencia); Climáticas (Temperatura ambiente y precipitación); variables edafológicas (humedad de suelo y temperatura).

Para determinar la capacidad de tolerancia de las plantas al estrés hídrico, se utilizó una escala de acuerdo al daño que pueda provocar en la morfología de la planta (Tabla 2).

3. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum L.*) al estrés hídrico por sequía y a la aplicación de bioinsumos en la comunidad del Kewiñal, Colomi (cochabamba)

Otra investigación fue llevada a cabo en la comunidad del Kewiñal del municipio de Sacaba en Cochabamba, ubicada a 17° 20' 10" latitud sur y 65° 52' 15" longitud oeste a 3.309 msnm, con temperatura promedio de 13.5 °C, precipitación promedio 534.9 mm/año. La comunidad de Kewiñal corresponde a la zona Montañosa (Puna).

Se utilizó 14 cultivares nativos de papa de los cuales cuatro fueron locales (Tabla 3). Se utilizó el cultivar Waych'a como testigo sistemático.

La siembra se realizó en octubre del 2011, los tubérculos fueron sembrados en surcos abiertos a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,70 m entre surco de 0.70 m. La superficie total de la parcela fue de 459,9 m².

La parcela se implementó en un diseño de bloque incompletos (Siles, 2005), con arreglo en parcelas divididas, con tres parcelas principales, siete bloques en cada parcela principal y seis unidades experimentales en cada bloque. Se tuvo un total de 126 unidades experimentales. Los factores implementados fueron: Factor A: 1, 2, 3....14 cultivares nativos de papa. Factor B: 1 = sin sequía y 2 = con sequía y Factor C: 1 = gallinaza a razón de 50 kg/ha, 2 = humus de lombriz a razón de 3 t/ha + micorriza (Micobac con *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum*) 3 = humus de lombriz a razón de 3 t/ha (Ortuño *et al.*, S/F).

En el desarrollo del cultivo se realizaron dos aporques, la primera en la emergencia, cuando las plántulas tuvieron una altura de 10 cm, el último aporque se realizó en la fase de llenado de tubérculo. Se hizo el deshierbe según el requerimiento del cultivo, y el manejo fue el mismo para toda las parcelas principales.

En el tratamiento de sequía se cubrió los bloques con túneles con estructuras de fierro y plástico a partir de los 60 días después de la siembra que coincide con el estadio de pre-tuberización (etapa más crítica donde la sequía puede causar grandes pérdidas), durante 30 días. Estas cubiertas plásticas fueron destapadas cuando no hubo precipitaciones. Se hicieron canales de agua que fueron revestidos con plástico para evitar la infiltración del agua de lluvia en las unidades experimentales.

Para el estudio se consideraron algunas variables fisiológicas, morfológicas y componentes de rendimiento. Las variables fisiológicas fueron: Severidad o grado de marchitez (GM) - que se evaluó según la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo (2009), una vez finalizado el periodo de sequía. Capacidad de recuperación (CR) - se evaluó de acuerdo a la escala de Blum (1993) modificada para recuperación (Gabriel *et al.*, 2011). Porcentaje Clorofila (PC) - que se midió con el SPAD-520 en hojas de la parte media de la planta una vez que las plantas terminaron el tratamiento de sequía (Gonzales, 2009), Materia Seca de Follaje (MSF) que se evaluó en la cosecha, Materia Seca de Raíz (MSR), evaluados en la cosecha.

Las variables morfológicas fueron: Largo de raíz (LR) – se evaluó a través de un perfil cultural no destructivo, Volumen de raíz (VR) - se evaluó con una probeta grande en cinco plantas al azar después de la cosecha.

Los principales componentes de rendimiento evaluados fueron: Número de tubérculos (NT) – se evaluó en el momento de la cosecha, Peso del tubérculo (PT) – se pesaron los tubérculos por categoría y por planta después de la cosecha y rendimiento (Y).

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes y/o que mejor recuperaron. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando el Proc GLM del SAS (SAS, 2004).

Gestión 2012-2013

4. Caracterización agronómica de cuatro variedades de papa nativa con aplicación de bioinsumos bajo condiciones de sequía en el Centro Quipaquipani (La Paz).

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Facilidades para la Investigación y Capacitación Quipaquipani, situado a 4 km al sur de la población de Viacha, Provincia Ingavi en el Departamento de La Paz. El Centro Quipaquipani está en la zona de transición entre el Altiplano Central y el Altiplano Norte. Este ensayo se estableció de acuerdo a la siguiente metodología:

Para el experimento, se preparó el terreno con la ayuda de tractor agrícola, realizando el roturado y rastrado. Posteriormente, previo a la siembra, se realizó el surcado y demarcación del área experimental dividiendo la superficie para dos condiciones: sequía y a secano. Finalmente se realizó la siembra de cada unidad experimental según el diseño experimental Completamente al Azar con arreglo bifactorial, donde el Factor A, fueron las 4 variedades de papa nativa: **V1** K'usillu (*Solanum Stenotomum*), grupo varietal Qhathi, **V2** Saq'anpaya (*Solanum tuberosum ssp andigena*), grupo varietal Qhathi, **V3** Yurima (*Solanum stenotomum*), grupo varietal Qhathi, **V4** Waych'a (*Solanum tuberosum ssp andigena*) grupo varietal Imillas; el Factor B fueron los tratamientos con bioinsumos T1=Sin estiércol, T2=Con estiércol y T3=Con estiércol + Micobac. Las evaluaciones

de déficit hídrico en 'Sequía' y 'A secano' fueron independientes y tomadas como experimentos separados entre sí.

La siembra del ensayo se realizó en fecha 16 de noviembre de 2012. Cada variedad de papa fue sembrada a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,80 m entre surcos. Previa la siembra se realizó la incorporación de estiércol a los surcos ya destinados para tal efecto a una relación de 10 Tn/Ha a chorro continuo, se utilizó el bioinsumo "Micobac" que contiene un 90% de micorrizas, para su aplicación se diluyó la cantidad adecuada (según cálculo) en agua donde se batió hasta lograr disolver el producto lo más posible, luego se dejó reposar por unos minutos antes de incorporarlo a la mochila para ser asperjado sobre las semillas expuestas en el surco con el estiércol ya incorporado.

La simulación de condiciones de sequía se estableció sobre tres surcos de cada unidad experimental en una superficie de 230,4 m². Se construyó una infraestructura tipo túnel, de cubierta móvil, para cubrir los tres surcos seleccionados y tener un control del periodo de sequía que se necesitaba establecer (Fig. 1). Los surcos seleccionados para evaluación a sequía, se cubrían cuando llovía y se destapaban cuando no llovía, esto con el propósito de mantener el suelo seco en los surcos seleccionados para evaluación de sequía.

Se planificó que el tratamiento de sequía dure 30 días comenzando cuando las plantas de papa estuvieran en inicio de floración que coincide con la formación de tubérculos. Las variables de evaluación consideradas en este ensayo fueron de altura de planta, cobertura foliar, contenido de clorofila, número de ramas y número de hojas que se debían registrar en dos momentos del experimento, al inicio y al final del tratamiento de sequía (30 días) todo esto con el propósito de ver el efecto de la sequía, en las cuatro variedades sometidas a tres tratamientos con bioinsumos.

Luego del tratamiento de sequía se procedió con la cosecha de las variedades. En esta fase del experimento se realizaron evaluaciones al número de tubérculos, peso de tubérculos por planta, peso individual de tubérculos, volumen de tubérculos por planta, volumen individual de tubérculos y rendimiento. Finalmente con los datos obtenidos se realizaron los Análisis de Varianza y las pruebas de medias Duncan para las variables evaluadas.

5. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía y la aplicación de bioinsumo en la comunidad de Larati, Colomi (Cochabamba)

La presente investigación se llevó cabo en la comunidad del Larati grande ubicada geográficamente a 16° 31' 00" de latitud sur y 68° 18' 00" de longitud oeste y a una altura aproximada de 3 400 msnm.

Se utilizó ocho cultivares nativos de papa (Tabla 4) y el cultivar Waych'a como testigo.

Se implementaron tres diferentes tratamientos de sequía: Riego + Lluvia, Lluvia y Sequía. El tratamiento de Riego + Lluvia es el tratamiento que permitirá alcanzar un rendimiento potencial ya que la planta no sufre de estrés hídrico en ningún momento. El tratamiento Lluvia es el tratamiento de riego que depende exclusivamente de las lluvias y es el tratamiento de riego normalmente practicado por el agricultor de la zona. Finalmente el tratamiento de sequía consistió en la suspensión del riego por espacio de un mes durante la etapa de pre tuberización.

La siembra se realizó en octubre del 2012, los tubérculos fueron sembrados en surcos abiertos a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,70 m entre surcos. La superficie total de la parcela fue de 453,6 m².

La parcela se implementó en un diseño de látice balanceado 3*3 con arreglo en parcelas divididas y diferente número de bloques por parcela principal. Los factores implementados fueron: Factor A (parcela principal): 1 = Riego + lluvia, 2 = Lluvia y 3 = Sequía y Factor B (subparcela): 1, 2, 3....9 cultivares nativos de papa.

En el desarrollo del cultivo se realizaron dos aporques, el primero en la emergencia, cuando las plántulas tuvieron una altura de 10 cm, el último aporque se realizó en la fase de llenado de tubérculo. Se hizo el deshierbe según el requerimiento del cultivo, y el manejo fue el mismo para todas las parcelas principales.

En el tratamiento de sequía se cubrió los bloques con túneles de estructuras de fierro y plástico a partir de los 60 días después de la siembra que coincide con el estadio de pre-tuberización (etapa más crítica donde la sequía puede causar grandes pérdidas), durante 30 días. Estas cubiertas plásticas fueron destapadas cuando no hubo precipitaciones. Se hicieron canales de agua que fueron revestidos con plástico para evitar la infiltración del agua de lluvia en las unidades experimentales.

Para el estudio se consideraron variables de respuesta y componentes de rendimiento. Las variables fueron: Severidad o grado de marchitez (GM) que se evaluó según la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo

(2009) una vez finalizado el periodo de sequía, Capacidad de recuperación (CR) que se evaluó de acuerdo a la escala de Blum (1993) modificada para recuperación (Gabriel et al., 2011) después de una semana de aplicado el riego de recuperación al final del periodo de sequia, Altura de planta (AP) en cm. después del periodo de sequia, Número de tallos (NT) después del periodo de sequia, Número de hojas (NH) después del periodo de sequia, Contenido de Clorofila (CC) que se midió con el SPAD-520 en hojas de la parte media de la planta una vez que las plantas terminaron el tratamiento de sequia (Gonzales, 2009), cobertura foliar (CF) que se evaluó mediante imágenes fotográficas después de finalizado el tratamiento de sequia. Estas imágenes se importaron al programa Cob Cal v.1 que determina el porcentaje foliar basado en colorimetría; programa creado por el Instituto Nacional de Tecnología Agraria (INTA), Uruguay y Contenido relativo de agua en las hojas (CRA) que se midió mediante la toma del peso fresco, túrgido y seco de foliolos. El CRA se calculo mediante la siguiente fórmula: $CRA = (\text{Peso fresco} - \text{peso seco}) / (\text{Peso túrgido} - \text{peso seco})$. También se evaluó el porcentaje de Humedad del suelo por el método gravimétrico.

Los principales componentes de rendimiento evaluados fueron: Número de tubérculos (NT) que se evaluó en el momento de la cosecha y rendimiento (Y) (t/ha).

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes, las que mejor recuperaron y las con mayor rendimiento. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando el Proc Mixed del SAS (SAS, 2008). También se realizó un análisis de correlación entre las variables severidad, recuperación y rendimiento con las demás variables. La correlación se realizó para cada tratamiento de sequia por separado y para los tres tratamientos en conjunto, esto para poder determinar cómo se correlacionan las diferentes variables dentro de cada tratamiento de sequia y en conjunto. Para este propósito se utilizó el proc corr del SAS (SAS, 2008).

Resultados y discusión

Gestión 2010-2011

1. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas frente a los riesgos climáticos en la comunidad Cariquina grande (La Paz)

El análisis de varianza, muestra diferencias altamente significativas entre parcelas con estrés (con cubierta) y sin estrés (sin cubierta), mientras tanto entre variedades se observa diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 22.60%.

Entre los resultados obtenidos se evidencia en la figura 2, que entre las variedades que presentan mayor porcentaje de cobertura foliar cuando son estresadas con cubierta plástica en los camellones son la variedades Kusillu con 31.25, Waych'a con 29.46, Runtu papa con 25.04, Sacampaya con 24.6, Yurima con 24.45, Chiyara phiñu con 24.15 y Qaqa surimana con 24.06. En tanto las variedades que presentan mayores porcentaje de cobertura foliar en la parcela sin cubierta son Runtu papa con 40.9, Chiyara phiñu con 38.79, Yurima con 37.77, Waych'a con 37.62, Phureja con 36.83, Qaqa surimana con 36.37 y Kusillu con el 34.14.

Al respecto de la prueba Duncan al 5% de la figura 3, muestra que la variedad Waycha presenta la mayor cobertura en promedio, en tanto los de baja cobertura promedio son las pertenecientes a las de la variedad K'awiri y Lucki.

En tanto en la relación de parcela con estrés y sin estrés las variedades que se comportan similarmente en ambas sin mucha diferencia es la variedad Kusillu, con una brecha de 4%.

El análisis de varianza para el variable rendimiento, mostró diferencias altamente significativas para los promedios de parcela con cubierta y sin cubierta y tanto para las variedades con un coeficiente de variación de 27,72%.

En relación a los rendimientos de la parcela con estrés, la variedad Waycha presento el rendimiento más alto con 5,93 t/ha , seguido por las variedades Sacampaya con 5,2 t/ha, Yurima con 5,11 t/ha, Kusillu con 4,93 t/ha, Qaqa surimana con 4,4 t/ha, Q'illu puya con 3,3 t/ha, Chiyara phiñu con 3,26 t/ha, Lucki con 3,09 t/ha y

finalmente las variedades Runtu papa, Janq'u K'awiri, Phureja, Chiyara K'awiri con 1,93; 1,84; 1,78; 1,41 t/ha respectivamente.

En lo concerniente a la parcela sin estrés se pudo evidenciar que la variedad Sacampaya presento un rendimiento de 11,35 t/ha, seguido de la variedad Waycha con 10,04 t/ha y la variedad Yurima con 8,74 t/ha, también se destaca un grupo de similar rendimiento donde se encuentran la Qaqa surimana, Kusillu, Lucki, Q'illu puya y Chiyara phiñu con rendimientos de 6,63; 6,52; 6; 5,84 t/ha, también se evidencio otro grupo con rendimientos similares en el que se encuentran las variedades Janq'u K'awiri, Phureja y Chiyara K'awiri con 4,85; 4,41 y 4,30 t/ha.

La prueba de Duncan, muestra en la Figura 4 en promedio general a la variedad Sacampaya, con el mayor rendimiento y a la Chiyara K'awiri con el menor.

Para la determinación de la humedad del suelo, se lo hizo mediante la humedad gravimétrica cada 14 días, después de la siembra en la parcela de estrés hídrico en la comunidad de Jutilaya, a continuación se muestra el comportamiento de la humedad del suelo en la figura 3.

Gestión 2011-2012

2. *Evaluación de seis variedades de papa nativa (Solanum tuberosum L.), con aplicación de bioinsumo bajo condiciones de déficit hídrico en la comunidad de Jutilaya (Cariquina), provincia Camacho, departamento de La Paz*

El análisis de varianza para altura de planta a los 114 días (Tabla 5) encontró diferencia significativa entre los tratamientos sin y con estrés hídrico, y del mismo modo sucedió con el comportamiento entre las variedades de papa, entre tanto que el efecto de la aplicación de bioinsumos no fue significativo. El coeficiente de variación fue de 21.7%.

El análisis de la prueba de medias (Duncan al 5%) para altura de planta a los 114 días (Fig. 5), muestra a las variedades Yurima, Surimana, Kusillu, Sacampaya y Waycha estadísticamente iguales, en cambio la variedad Ajawiri tuvo una altura promedio menor en relación a las otras variedades. Diferencias que se reflejó por las características morfológicas de las especies, ya que las variedades Yurima, Surimana y Kusillu corresponden a la especie *S. stenotomum* y las variedades Sacampaya y Waycha a *S. tuberosum ssp andigena*, ambas especies tienen características de hábito de crecimiento erecto y semierecto (mayor altura de planta), mientras la variedad Ajawiri corresponde a *S. ajanhuiri* que se caracteriza por su hábito de crecimiento decumbente (menor altura de planta). Lo cual hizo que existieran diferencias en altura de planta de las variedades en el estudio.

El análisis de varianza, realizado para cobertura foliar (Tabla 6), indica que existe diferencias significativas entre los tratamientos con y sin estrés hídrico, así también muestra la diferencia altamente significativa entre variedades mostrando diferencias en cobertura foliar, la interacción de estrés hídrico con variedad, y la interacción de variedad con bioinsumo también muestra diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación es de 12%.

La comparación de medias (Fig. 6), muestra que las variedades en estudio son diferentes unos a los otros respecto a la cobertura foliar. La variedad Sacampaya tiene el mayor porcentaje de cobertura foliar (37.9) en relación a las demás, las variedades Surimana y Kusillu son iguales estadísticamente con valores de 33.8 y 33% de cobertura foliar, respectivamente, mientras la variedad Waycha tiene 27.7% de cobertura foliar, estadísticamente diferente de las otras variedades, por su parte las variedades Yurima y Ajawiri muestran menor cobertura foliar (19.4 y 16.1% respectivamente).

La capacidad de tolerancia de las plantas al estrés hídrico en estado de planta, mostró a cuatro variedades con plantas en escala 2 y dos variedades en escala 3 (Tabla 7), según la escala propuesta por Angulo *et al.* (2008) citado por Gabriel *et al.* (2010). Las variedades Sacampaya, Kusillu, Surimana y Ajawiri, mostraron con mayor frecuencia, plantas marchitas en un 50% de sus hojas y/o con amarillamiento moderado y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame moderado. En cambio las variedades Waycha y Yurima mostraron con frecuencia, plantas marchitas en un 75% de sus hojas y/o con amarillamiento avanzado y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame avanzado. Reflejando que las variedades Sacampaya, Kusillu, Surimana y Ajawiri, son más tolerantes en estado de planta (Escala 2) respecto a las variedades Waycha y Yurima (Escala 3).

En la Tabla 8, se muestra el grado de recuperación de las plantas (follaje) de las variedades en estudio, utilizando la escala propuesta por Angulo *et al.* (2008), citado por Gabriel *et al.* (2010). Las plantas de las variedades Sacampaya, Kusillu y Ajawiri, de escala 2 de estrés hídrico, a los 15 días después de levantar la cubierta, lograron recuperarse y mostrar características de la escala 1. Mientras la variedad Surimana no logró recuperarse y mantuvo las mismas características de las plantas respecto al estrés hídrico inicial de escala 2. Asimismo las variedades Waycha y Yurima mantuvieron el estrés de escala 3 hasta los 15 días de evaluación. Lo cual muestra que las variedades tolerantes tienen cierto grado de recuperación a excepción de la variedad Surimana.

El análisis de varianza realizando para el rendimiento (Tabla 9), señala que hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos con y sin estrés hídrico, también muestra diferencias significativas entre variedades, además entre repeticiones (bloques). El coeficiente de variación es de 23.7%.

La prueba de medias para rendimiento (Fig. 7) muestra diferencias entre variedades, estadísticamente las variedades Sacampaya, Yurima y Waycha son iguales, con rendimientos 6.2, 5.4 y 5.2 t/ha, respectivamente, cifras que son mayores en relación a las variedades Kusillu y Surimana, que tienen rendimientos 4.8 y 4.3 t/ha, respectivamente, y mucho menor rendimiento tuvo la variedad Ajawiri (3.2 t/ha). Las variedades en estudio a excepción de Sacampaya y Yurima tuvieron bajos rendimientos en relación al promedio nacional de 5.4 t/ha (INE, 2012; MDRyT, 2012). Las cifras inferiores son producto del estrés hídrico a la que fueron sometidas, sin embargo se puede mencionar que las variedades Sacampaya y Yurima son promisorias bajo condiciones de estrés hídrico por su mayor rendimiento al promedio nacional.

El rendimiento de las variedades, muestra claramente la diferencia entre el tratamiento con y sin estrés hídrico (Fig. 8). En promedio del rendimiento en condiciones sin estrés hídrico alcanza 6.6 t/ha, mientras el rendimiento promedio bajo condiciones con estrés hídrico solo lleva a 3.1 t/ha, existiendo una reducción de 53% por efecto del estrés hídrico. A nivel de variedades, se observa también diferencias significativas, las variedades Kusillo, Surimana, Ajawiri, Yurima y Waycha tuvieron mayor rendimiento sin el estrés hídrico, mientras que con estrés hídrico mostraron bajos rendimientos, existiendo una reducción alta desde 47 a 71%, mientras la variedad Sacampaya si bien sufrió una reducción, esta fue menor (9%), en relación a las otras variedades.

La aplicación de bioinsumos en los tratamientos sin y con estrés hídrico, así como en las variedades de papa, tuvo efecto en el rendimiento. El tratamiento sin estrés hídrico (Fig. 9A), muestra a las variedades por efecto de la aplicación de bioinsumo un mayor rendimiento promedio (7 t/ha), en relación al rendimiento promedio sin aplicación (6.2 t/ha), a excepción de la variedad Ajawiri que tuvo un rendimiento mayor sin aplicación. Por lo general existe un incremento de 0.8 t/ha por efecto del bioinsumo, que equivale al 6.6%.

En el tratamiento con estrés hídrico (Fig. 9B), muestra a las variedades con rendimientos diferentes bajo condiciones sin y con aplicación de bioinsumo, el rendimiento promedio con aplicación (3.4 t/ha) supera en relación al rendimiento promedio sin aplicación (2.8 t/ha), esto demuestra que existe el efecto del bioinsumo en las variedades de papas nativas, incrementando en 14.3% el rendimiento del tubérculo.

De acuerdo a la figura 10, el comportamiento de la humedad de suelo fue similar hasta el mes de enero de 2012, a partir del mes de febrero la humedad del suelo del tratamiento con estrés hídrico (con cubierta) fue descendiendo llegando hasta llegar a 17.5% en el mes de marzo, esto debido a la instalación de la cubierta con plástico que impidió la llegada de las aguas por lluvia al suelo a partir de febrero hasta mediados del mes de marzo, posterior a ello la humedad del suelo fue incrementando hasta llegar 33.9% en el mes de abril y luego volvió a disminuir. Mientras la humedad del suelo en el tratamiento sin estrés hídrico (sin cubierta plástica) a partir del mes de febrero fue incrementando hasta principios de marzo, registrando 46.7% esto por las lluvias continuas, posteriormente fue disminuyendo paulatinamente hasta llegar a 24.7% en el mes de mayo.

Los resultados presentados muestran que las variables altura de planta y cobertura foliar no muestran claramente el nivel de tolerancia al déficit hídrico, debido a que las variedades que corresponde a las especies *S. tuberosum* ssp *andigena* y *S. stenotomum* tiene mayor altura debido a sus características de hábito de crecimiento erecto o semierecto, en relaciones a las variedades de *S. ajanhuiri* que por lo general tienen plantas decumbentes.

En la variable reacción a la sequía (severidad) las variedades Sacampaya, Surimana, Kusillu y Ajawiri en condiciones de estrés hídrico mostraron mayor tolerancia, asimismo alcanzaron mayor recuperación, respecto al rendimiento Sacampaya obtuvo una cifra elevada, mientras Kusillu y Surimana tuvieron bajos rendimientos, y muy baja la variedad Ajawiri. A respecto Gabriel *et al.* 2011, señala que las plantas de papas nativas con

mayor severidad y menor recuperación presentan menor volumen de tubérculos. Lo cual muestra que el efecto del estrés hídrico, se ve reflejado en la disminución en el rendimiento, y no tanto en el comportamiento del follaje.

3. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía y a la aplicación de bioinsumos en la comunidad del Kewiñal, Colomi (Cochabamba)

El análisis de varianza (Tabla 10) mostró diferencias significativas ($Pr < 0.05$) para sequía, lo cual significa que la sequía impuesta causó severidad y por tanto el tratamiento fue el apropiado. Los C.V. estuvieron entre 17 a 25%, que son apropiados para este tipo de experimentos en campo.

Asimismo, se observaron diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) entre cultivares para severidad. Lo que indicó que al menos uno de los cultivares obtuvo un grado de severidad diferente a los de los demás cultivares. Una vez realizadas las comparaciones de medias se observó que la variedad Yuraj Ajanhuiri fue más resistente que 10 de los cultivares nativos incluido el testigo Waych'a. Por otra parte los cultivares Bola Qoyllu, PuKa Qoyllu, Pinta Boca, Kellu Zapallo y Yana Ajanhuiri expresaron mayor susceptibilidad a sequía (Fig. 11). Las demás mostraron resistencia moderada al estrés hídrico por sequía.

Por otra parte también existieron diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) entre bioinsumos para severidad (Tabla 10). Lo que significa que la severidad obtenida con al menos uno de los bioinsumos fue diferente a las obtenidas con los demás. Las severidades obtenidas con gallinaza y con el bioinsumo humus+micorriza fueron inferiores a la obtenida con el bioinsumo humus (Fig. 12). Esto significa que los bioinsumos gallinaza y humus+micorriza ayudaron a las plantas a resistir mejor los efectos de las sequía.

Para el grado de recuperación (Tabla 10) se observó que existieron diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) para cultivar. Lo que significa que el grado de recuperación de al menos uno de los cultivares fue diferente a los demás. No existió interacción cultivar * bioinsumo lo que indicó que el efecto del bioinsumo en el grado de recuperación fue el mismo para todos los cultivares. Los cultivares que mejor recuperaron fueron Puka Taca, Waych'a, Yana Sutamari, Sakampaya, Huaycho Qoyllu, Pinta Boca e Imilla Lunku (Fig. 13). En cambio las que menos recuperaron fueron Puka Sutamari y Yana Ajanhuiri.

También existieron diferencias altamente significativas para bioinsumo ($Pr < 0.01$) en el grado de recuperación. Esto quiere decir que las al menos uno de los bioinsumos tuvo una media diferente para el grado de recuperación. Se observó (Fig. 14) que la Gallinaza causó mejor recuperación que los otros bioinsumos.

El análisis de varianza para rendimiento (Tabla 10) indicó que existieron diferencias significativas para cultivar ($Pr < 0.01$). Esto indicó que el rendimiento de al menos uno de los cultivares fue diferente al de los demás. No existieron interacciones para cultivar * bioinsumo ($Pr = 0.809$) ni para cultivar * sequía ($Pr = 0.164$). Esto significa que los rendimientos de los cultivares fueron los mismos con o sin sequía y con o sin bioinsumo. Cuando se compararon las medias de rendimiento para los 15 cultivares se observó que las variedades Yana Sutamari, Puka Sutamari, Sani Imilla, Puka Taca, Imilla Lunku, Sakampaya y Waych'a obtuvieron rendimientos superiores al resto de los cultivares nativos (Fig. 15).

El ANVA también mostró diferencias significativas para bioinsumo. Esto indicó que el rendimiento obtenido con al menos uno de los bioinsumos fue diferente al de los demás. No existieron las interacciones bioinsumo*cultivar ni bioinsumo*sequía. Esto sugirió que el efecto de los bioinsumos sobre el rendimiento fue el mismo en todas las variedades y que también fue el mismo con o sin sequía (Fig. 16).

Se observó (Fig. 16) el efecto general de los bioinsumos sobre el rendimiento, encontrándose que la gallinaza es superior a los dos bioinsumos. El análisis de correlación de Pearson realizado entre todas las variables de respuesta (Tabla 11) mostró que en general no hubo correlaciones importantes entre las variables, a pesar de que en muchos casos fueron significativos ($Pr < 0.05$) o altamente significativos ($Pr < 0.01$) con excepción de la variable MSR que mostró una correlación positiva y altamente significativa con MSR, LR y Y. La variable MSR mostró una correlación positiva altamente significativa con el VR; y finalmente hubo correlación positiva altamente significativa de la variable LR con Y. Todas estas correlaciones hacen referencia a la acumulación de fotosintatos en la raíz y el follaje que afecta directamente al rendimiento (Y).

Un trabajo previo sobre resistencia al estrés hídrico por sequía de cultivares nativos realizado bajo condiciones de invernadero (Gabriel *et al.*, 2011) encontraron que el GM se asoció muy alta y positivamente con la CR, esto indicaría que cuanto mayor fue la severidad, menor fue el grado de recuperación. Es lógico suponer que cuanto más severidad alcanzó un cultivar le fue más difícil recuperarse. En nuestro caso observamos una asociación positiva pero moderada.

En el presente estudio que fue realizado en campo, no hemos encontrado asociaciones importantes entre las variables evaluadas, con excepción de la variable MSF que mostró una correlación positiva y altamente significativa con MSR, LR y Y. La variable MSR mostró una correlación positiva altamente significativa con el VR; y hubo una correlación positiva altamente significativa de la variable LR con Y. Todas estas correlaciones hacen referencia a la acumulación de fotosintatos en la raíz y el follaje que afecta directamente al rendimiento (Y).

En nuestro estudio no encontramos asociación entre el GM y CR con el NT, PT y Y, lo que estaría indicando que el estrés hídrico por sequía aparentemente no tendría un efecto con estas variables, lo cual no parece tener lógica puesto que el efecto principal se da en el rendimiento (Y), la cual está asociado directamente con el NT y el PT. Una explicación razonable podría ser que las variables indirectas como el GM y CR tienen que complementarse con otras variables para una mejor toma de decisiones a la hora de seleccionar cultivares resistentes. Está claro que esto nos lleva a pensar que estamos tratando con un tema complejo, donde están involucrados muchos genes que interactúan con el ambiente.

Se debe resaltar que los cultivares Yuraj Ajanhuiri, Sakampaya y Yana Sutamari que estuvieron entre las más resistentes al estrés hídrico por sequía también mostraron muy buena CR. En cambio, el cultivar Yana ajanhuiri que estuvo entre las más susceptibles no mostró CR. Esto mostró que cultivares resistentes al estrés hídrico por sequía, en muchos casos tienen los genes para recuperarse al estrés por sequía.

Se observó que el rendimiento (Y) está asociado a la resistencia, así por ejemplo el cultivar Yana sutamari que fue resistente, también fue el que tuvo mayor rendimiento. En cambio el cultivar Yana ajanhuiri que fue susceptible, también fue el que menor rendimiento tuvo.

Se debe resaltar que el uso de gallinaza mejoró las variables de respuesta GM, CR y Y. Esto está mostrando que la gallinaza contribuye mejor a la resistencia a la sequía, al grado de recuperación y al rendimiento.

Gestión 2012-2013

4. Caracterización agronómica de cuatro variedades de papa nativa con aplicación de bioinsumos bajo condiciones de sequía en el Centro Quipaquipani (La Paz).

Lamentablemente los días 19, 20 y 21 de marzo de 2013 se registraron heladas consecutivas de hasta -10°C que causaron el 80% de daño en el follaje de las plantas de papa (Fig. 17). Este fenómeno climático adverso ocurrió luego de 19 días de iniciado el tratamiento de sequía y a pesar de los esfuerzos que se realizaron con la aplicación de biofertilizante foliar Vigortop, las plantas se necrosaron y se secaron. Por esta razón no se tomaron datos de altura de planta, cobertura foliar, contenido de clorofila, número de ramas y número de hojas al final del tratamiento de sequía.

Luego de una evaluación preliminar sobre la formación de tubérculos, se decidió continuar con el registro de información del número de tubérculos, peso de tubérculos por planta, peso individual de tubérculos, volumen de tubérculos por planta, volumen individual de tubérculos y rendimiento a la cosecha, las cuales se describen a continuación.

El análisis de varianza realizado a número de tubérculos muestra que existieron diferencias altamente significativas en cuanto a las variedades, debido a que son variedades nativas y el número de tubérculos difiere entre ellas. También con este análisis se estableció que los tratamientos y la interacción Tratamiento-variedad no fueron significativos, es decir que los factores actúan de forma independiente para esta variable (Tabla 12).

De acuerdo a los resultados de la prueba Duncan ($p < 0.05$), indican que la variedad con mayor cantidad de tubérculos fue la variedad Saq'ampaya con un promedio de 33.3 tubérculos y la variedad Yurima con 13.22 tubérculos es la que muestra el menor número de tubérculos cosechados. Asimismo, en las variedades Waych'a y K'usillo el número de tubérculos promedio fue de 21.36 y 18.0 tubérculos respectivamente.

El Análisis de Varianza para el peso de tubérculos por planta se detalla en la tabla 13, según estos resultados existe diferencia altamente significativa en cuanto a la variedad, debido a que las variedades de papa nativa mostraron diferencias en cuanto al tamaño y el número de tubérculos. En cuanto a la interacción Tratamiento*Variedad, los resultados indican que existen diferencias significativas y que ambos factores actúan de forma conjunta en el peso de tubérculos por planta.

En la Figura 18 se muestra la diferencia de peso de tubérculos por planta entre las cuatro variedades de papa nativa y los tres tratamientos. En el tratamiento T1 (Sin estiércol) las variedades V2 (Saq'anpaya), V4 (Waych'a)

y V3 (Yurima), con 293.2 g, 272.5 g y 252 g de tubérculos respectivamente, son estadísticamente iguales y superiores a la variedad V1 (K'usillu) con 140.81g.

En el tratamiento T2 (con estiércol) la variedad V4 (Waych'a) con 406.1 g, es superior a las variedades V2 (Saq'anpaya), V3 (Yurima) y V1 (K'usillu) las cuales tuvieron 214.5 g, 200.9 g y 193.1 g de tubérculos respectivamente que a su vez son iguales estadísticamente.

En el tratamiento T3 (estiércol + Micobac) las variedades V2 (Saq'anpaya) y V4 (Waych'a), con 357.8 g y 345.7 g, son estadísticamente similares y superiores a la variedad V3 (Yurima) y V1 (K'usillu) con 250.2 g y 212.4 g de tubérculos respectivamente, a su vez la variedad V3 (Yurima) es superior a la variedad V1 (K'usillu) siendo esta última inferior a todas las demás.

La Figura 19, muestra la diferencia del peso de tubérculos por planta entre los tres tratamientos y las cuatro variedades. En la variedad V1 (K'usillu) los tratamientos T3 (estiércol + Micobac), T2 (con estiércol) y T1 (Sin estiércol) con 212.4 g, 193.1 g y 140.8 g respectivamente, son estadísticamente iguales entre sí. Según la Figura 2, en la Variedad V2 (Saq'anpaya), el tratamiento T3 con 357.8 g, es superior al T1 y T2 con 293.2 g y 214.5 g respectivamente, siendo a su vez el tratamiento T1 superior al tratamiento T2 siendo esta última inferior a las demás. La variedad V3 (Yurima), muestra que los tratamientos T1, T3 y T2 con 252.1 g, 250.5 g y 200.9 g respectivamente, son estadísticamente iguales entre sí y no tienen diferencias muy marcadas. En la variedad V4 (Waych'a), el tratamiento T2 con 406.1 g es superior al tratamiento T3 con 345.7 g y este a su vez es superior al tratamiento T1 con 272.5 g siendo esta la inferior a las demás.

El análisis de varianza realizado para peso individual de tubérculos (Tabla 14) muestra que existieron diferencias altamente significativas en el factor variedad, debido a que el peso individual de los tubérculos fue diferente en cada variedad. Sin embargo tanto el factor tratamiento y la interacción Tratamiento*Variedad, no fueron significativas.

Según la prueba de medias Duncan ($p < 0.05$), para el peso individual de tubérculos indican que la variedad con mayor peso de tubérculo individual fue la variedad Yurima con un promedio de 20.89 g seguida de la variedad Waych'a con 17.25 g, en cambio las variedades K'usillo y Saq'ampaya tuvieron menor peso individual de tubérculo con 10.94 g y 8.44 g respectivamente, debido a que estas últimas variedades presentaron tubérculos de menor tamaño.

El análisis de varianza realizado para volumen de tubérculos por planta muestra que hay diferencia altamente significativa para el factor variedad y diferencias significativas para la interacción (TRATAMIENTO*VARIEDAD), no siendo significativo el factor tratamiento (Tabla 15).

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) se observa que las variedades con mayor volumen por planta fueron las variedades Waych'a y Saq'ampaya con 341.44 y 288.07 cm³ respectivamente, estos resultados muestran que estadísticamente ambas variedades son iguales, mostrando que a mayor cantidad de tubérculos mayor volumen, en cambio con volúmenes más bajos pero iguales estadísticamente entre sí fueron las variedades Yurima y K'usillo con 234.41 y 182.1 cm³ respectivamente.

En la Figura 20 muestra la diferencia de volumen de tubérculos por planta entre las cuatro variedades dentro los tres tratamientos. En el tratamiento T1 (Sin estiércol) las variedades V2 (Saq'anpaya), V4 (Waych'a) con 270 y 253.8 cm³ respectivamente, son estadísticamente iguales y superiores a las variedades V3 (Yurima) y V1 (K'usillu) que registraron 240 y 153.3 cm³ respectivamente. También se advierte que la variedad V3 es superior a la variedad V1 y esta última es la que registro menor volumen entre todas.

En el tratamiento T2 (con estiércol) La variedad V4 con 372.5cm³ es superior a las variedades V2, V3 y V1 con 205.5, 185 y 183.8 cm³ respectivamente, que a su vez son iguales estadísticamente.

En el tratamiento T3 (estiércol + micobac) las variedades V2 (Saq'anpaya) y V4 (Waych'a) con 347 y 330 cm³ son estadísticamente similares y superiores a la variedad V3 (Yurima) y V1 (K'usillu) con 236.3 y 196.3 cm³ respectivamente, a su vez la variedad V3 es superior a la variedad V1 siendo esta última inferior a todas las demás.

La Figura 21, muestra la diferencia de volumen de tubérculos por planta entre los tres tratamientos dentro las cuatro variedades. En la variedad V1 los tratamientos T3, T2 y T1 con 196.3, 183.8 y 153.3 cm³ respectivamente son estadísticamente iguales entre sí. En la Variedad V2, el tratamiento T3 con 347 cm³ es superior a los tratamientos T1 y T2 con 270 y 205.5 cm³ respectivamente, asimismo, el tratamiento T2 fue el que mostro menor efecto traducido en el volumen de tubérculos por planta. La variedad V3 muestra que los tratamientos T1, T3 y T2 con 240 g, 236.3 g y 185 g respectivamente son estadísticamente iguales entre sí y no tuvieron diferencias muy marcadas. La Figura 4 muestra que en la variedad V4, el tratamiento T2 con 372.5 cm³ es superior al tratamiento T3 con 330 cm³ y este a su vez es superior al tratamiento T1 que tiene 253.8 cm³ siendo esta la inferior a las demás.

El análisis de varianza realizado al volumen individual de tubérculos (tabla 16) muestra que existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para el factor variedad, no siendo significativas para el factor tratamiento y tampoco para la interacción (Tratamiento*Variedad).

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) se observa que la variedad con mayor volumen de tubérculo fue la variedad Yurima con 19.64 cm³ debido a que los tubérculos de esta variedad presentaron mayor tamaño, seguida de la variedad Waych'a con 16.2 cm³ que tuvieron tubérculos medianos, en cambio las variedades K'usillo y Saq'ampaya presentaron tubérculos con menor volumen promedio con 10.35 y 8.02 cm³, respectivamente, por consiguiente tuvieron tubérculos pequeños.

El análisis de varianza para rendimiento muestra que hay diferencias altamente significativas en cuanto a la variedad y diferencias significativas en la interacción (Tratamiento*Variedad), no siendo significativa la aplicación de los diferentes tratamientos utilizados (Tabla 17).

La prueba de Duncan ($p < 0.05$) muestra que las variedades con mayor rendimiento fueron las variedades Waych'a y Saq'ampaya con 5.93 y 5 kg/m² respectivamente, ambas variedades fueron estadísticamente iguales mostrando que a mayor cantidad de tubérculos y volumen por planta, mayor rendimiento, en cambio las variedades Yurima y K'usillo con 4.07 y 3.16 kg/m² respectivamente fueron las variedades que tuvieron menor rendimiento, ambas variedades son estadísticamente iguales entre sí.

La Figura 22 muestra la diferencia de rendimiento entre las cuatro variedades dentro los tres tratamientos. Se advierte que en el tratamiento T1 (Sin estiércol) las variedades V2 (Saq'ampaya), V4 (Waych'a) y V3 (Yurima) fueron estadísticamente iguales con valores que oscilaron entre 4.4 a 5.1 Kg/m².

Estas tres variedades fueron claramente superiores a la variedad V1 (K'usillo) que registro 2.5 Kg/m² de rendimiento, el más bajo dentro este tratamiento. En el tratamiento T2 (con estiércol) la variedad V4 (Waych'a) con 7.1 kg/m² fue superior a las variedades V2 (Saq'ampaya), V3 (Yurima) y V1 (K'usillo) quienes tuvieron rendimientos de 3.7, 3.5 y 3.4 Kg/m² respectivamente, estas tres variedades fueron iguales estadísticamente para el tratamiento con estiércol.

En el tratamiento T3 (estiércol + micobac) las variedades V2 (Saq'ampaya), y V4 (Waych'a) fueron estadísticamente similares debido a que registraron valores próximos en rendimientos (6.2 y 6.0 kg/m² respectivamente), ambas variedades, fueron superiores a la variedades V3 (Yurima) y V1 (K'usillo) quienes tuvieron rendimientos de 4.3 y 3.7 kg/m² respectivamente, a su vez la variedad V3 es superior a la variedad V1 siendo esta última inferior a todas las demás.

La Figura 23, muestra la diferencia de rendimiento entre los tres tratamientos dentro las cuatro variedades. En la variedad V1 (Saq'ampaya) la influencia de los tratamientos T3 (estiércol + micobac), T2 (con estiércol) y T1 (Sin estiércol) ocasionaron que esta variedad tuviera rendimiento de 3.7, 3.4 y 2.5 kg/m² respectivamente, estos valores fueron iguales entre sí y no tienen diferencias estadísticas evidentes.

En la Variedad V2 (Saq'ampaya), el rendimiento con el tratamiento T3 (6.2 Kg/m²) es superior a los rendimientos alcanzados con los tratamientos T1 y T2 de 5.1 y 3.7 Kg/m² respectivamente, siendo a su vez el tratamiento T1 superior al tratamiento T2, este último fue inferior a los demás.

Los resultados para la variedad V3 (Yurima) muestran que los rendimiento con los tratamientos T1, T3 y T2 fueron estadísticamente iguales entre sí con 4.4, 4.3 y 3.5 kg/m² respectivamente, y no existieron diferencias entre los tratamientos dentro de la variedad.

Asimismo, en la variedad V4 (Waych'a) el rendimiento logrado con el tratamiento T2 (7.1 Kg/m^2) fue superior al rendimiento alcanzado con el tratamiento T3 (6 kg/m^2) y este a su vez es estadísticamente superior al rendimiento obtenido con el tratamiento T1 (4.7 kg/m^2) siendo este valor inferior a los demás rendimientos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en cuanto a condición de sequía:

La tabla 18 muestra que existieron diferencias altamente significativas en cuanto al factor variedad, debido a que son variedades nativas diferentes y el número de tubérculos difiere entre ellas. En cambio, para el factor tratamiento y para la interacción Tratamiento*Variedad las diferencias no fueron significativas, esto nos indica que cada factor actúa de forma independiente.

De acuerdo a los resultados de la prueba de medias Duncan ($p < 0.05$), se observó que la variedad con mayor cantidad de tubérculos fue la variedad Saq'ampaya con un promedio de 36.2 unidades, seguida de la variedad K'usillu con 24.5 unidades, teniendo a la variedad Waych'a y Yurima como las variedades con menor número de tubérculos con 17 y 15.1 unidades, respectivamente.

Los resultados de la tabla 19 muestran que existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a la variedad, respecto a la interacción de (Tratamiento*Variedad) estos mismos resultados muestran que existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) y que ambos factores actúan de forma conjunta en la expresión esta variable. En cambio, el factor tratamiento resultó no ser significativo estadísticamente para esta variable.

Según la prueba de medias Duncan ($p < 0.05$), realizado para el peso de tubérculos por planta, se observó que la variedad Saq'ampaya fue la que registro mayor peso en tubérculos con un promedio de 215.79 g seguido de la variedad Yurima con 185.6 g, teniendo por último las variedades Waych'a y K'usillu con promedios de 164.59 y 142.35 g respectivamente, ambas variedades fueron estadísticamente iguales entre ellas.

La Figura 24 muestra las diferencias de peso de tubérculos por planta entre las cuatro variedades dentro los tres tratamientos. En el tratamiento T1 (Sin estiércol) la variedad V4 (Waych'a) fue la que tuvo el promedio de peso por planta más alto con 257.9 g, seguido por las variedades V2 (Saq'anpaya) y V3 (Yurima) con 196.2 y 181.8 g respectivamente, siendo estadísticamente iguales entre si y superiores a la variedad V1 (K'usillu) que registro 139.3 g.

Con el tratamiento T2 (con estiércol) la variedad V2 (Saq'anpaya) con 256.8 g de peso de tubérculos, fue superior a las variedades V3, V1 y V4 quienes registraron 138.8 g, 137.8 g y 137.3 g respectivamente, estas tres variedades fueron iguales estadísticamente.

Con el tratamiento T3 (estiércol + micobac) la variedad V3 (Yurima) fue la que tuvo el mayor peso de tubérculos con 224.5 g y fue estadísticamente superior a las demás variedades. En orden de importancia le siguieron las variedades V2 (Saq'anpaya) y V1 (K'usillu) con 194.4 y 149.9 g, ambas variedades fueron similares estadísticamente y superiores a la variedad V4 (Waych'a) con 122g, siendo esta última inferior a todas las demás.

La Figura 25, muestra la diferencia del peso de tubérculos por planta obtenidos por cada variedad como resultado de la aplicación de los tres tratamientos. En la variedad V1 (K'usillu), los pesos de tubérculos obtenidos fueron diferentes, 149.9 g, 139.3 g y 137.8 g resultado de la aplicación de los tratamientos T3 (estiércol + micobac), T1 (Sin estiércol) y T2 (con estiércol) respectivamente, sin embargo estos valores fueron estadísticamente iguales entre sí.

En la variedad V2 (Saq'anpaya), el mayor peso de tubérculos por planta, 256.8 g, fue obtenido con el tratamiento T2 y fue superior a pesos de tubérculos obtenidos con los tratamientos T1 y T3 con 196.2 y 194.4 g respectivamente, Según estos resultados tanto el tratamiento T1 como el Tratamiento T3 fueron estadísticamente iguales.

En la variedad V3 (Yurima), el mayor peso de tubérculos (224.5 g), fue obtenido con el tratamiento T3, menores valores de peso de tubérculos se obtuvieron con los tratamientos T1 (181.8 g) y T2 (138.8 g) siendo este último inferior a todos los demás.

Según la Figura 25, la variedad V4 (Waych'a) obtuvo los mayores pesos de tubérculos con el tratamiento T1 (257.9 g). En cambio con los tratamientos T2 y T3 los pesos de tubérculos fueron menores, 137.3 g y 122.0 g respectivamente, ambos resultados fueron estadísticamente iguales.

Los resultados de la tabla 20, muestran que existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en el factor variedad sometidas a periodos de sequía, esto significa que las variedades nativas de papa, sometidas a sequía, presentaron diferentes pesos individuales de tubérculos. En cambio, el factor tratamiento y la interacción tratamiento*variedad no fueron significativas para el peso individual de tubérculos.

De acuerdo a la prueba de medias Duncan ($p < 0.05$) aplicado a esta variable, se observa que las variedades con mayor peso de tubérculo individual fueron las variedades Yurima y Waych'a con un promedio de 11.16 g y 9.8 g respectivamente siendo estadísticamente iguales, mostrando que estas dos variedades en condiciones de sequía desarrollan tubérculos de similar peso y de mayor tamaño. Asimismo, en las variedades K'usillo y Saq'ampaya los pesos individuales de tubérculos fueron 5.91 g y 5.55 g respectivamente, y ambas resultaron ser estadísticamente iguales entre sí, al presentar tubérculos de menor tamaño y peso.

Según la tabla 21, el análisis de varianza realizado al volumen de tubérculos mostró que existieron diferencias significativas ($p < 0.01$) para el factor variedad y para la interacción Tratamiento*Variedad. Esto nos indica que el volumen de tubérculos de las variedades sometidas a periodos de sequía fueron diferentes y también que existió un efecto combinado entre el tratamiento – variedad que resulto en las diferencias en el volumen de tubérculos. En cambio, el factor tratamiento por sí mismo, no fue significativo en los resultados del volumen de tubérculos por planta.

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) se observó que la variedad con mayor volumen de tubérculos por planta fue la variedad Saq'ampaya con 200.83 cm^3 , seguida de la variedad Yurima con 174.55 cm^3 . Asimismo, las variedades Waych'a y K'usillo tuvieron volúmenes de tubérculos más bajos con 154.55 cm^3 y 131.67 cm^3 respectivamente, estas últimas variedades fueron iguales estadísticamente entre sí.

La Figura 26 muestra la diferencia de volumen de tubérculos por planta entre las cuatro variedades en estudio resultado de la aplicación de los tres tratamientos. Según estos resultados, con el tratamiento T1 (Sin estiércol) la variedad V4 (Waych'a) tuvo los mayores volúmenes de tubérculos con 243.3 cm^3 es estadísticamente superior a las variedades V2 (Saq'ampaya), V3 (Yurima) y V1 (K'usillo) con 182.5 cm^3 , 171.3 cm^3 y 130.5 cm^3 respectivamente. Con este tratamiento T1 las variedades V2 y V3 fueron estadísticamente iguales y a su vez superiores a la variedad V1 que fue la que tuvo tubérculos de menor peso.

Con el tratamiento T2 (con estiércol) la variedad V2 (Saq'ampaya), fue la que tuvo el mayor peso de tubérculos con 238.8 cm^3 y fue superior a las otras variedades V3 (Yurima), V4 (Waych'a) y V1 (K'usillo) que tuvieron 130.0 cm^3 , 127.5 cm^3 y 127 cm^3 respectivamente. Con la aplicación del tratamiento T2 los volúmenes de tubérculos de las variedades V3 (Yurima), V4 (Waych'a) y V1 (K'usillo) fueron estadísticamente iguales.

Con el tratamiento T3 (estiércol + micobac) la variedad V3 (Yurima), con 211.3 cm^3 , fue superior en volumen de tubérculos a las variedades V2 (Saq'ampaya) y V1 (K'usillo) que registraron 181.3 cm^3 y 137.5 cm^3 respectivamente. Asimismo, la variedad V4 (Waych'a) fue la que tuvo menor volumen de tubérculos en relación a la demás (115 cm^3).

La Figura 27, muestra la diferencia de volumen de tubérculos por planta entre los tres tratamientos para cada variedad de papa nativa en estudio. En la variedad V1 (K'usillo) los volúmenes de tubérculos por planta obtenido con los tratamientos T3 (estiércol + micobac), T1 (Sin estiércol) y T2 (con estiércol), 137.5 cm^3 , 130.5 cm^3 y 127 cm^3 respectivamente, fueron estadísticamente iguales entre sí.

En la variedad V2 (Saq'ampaya), el mayor volumen de tubérculos por planta (238.8 cm^3), se obtuvo con el tratamiento T2 (con estiércol), en cambio con los tratamientos T1 (Sin estiércol) y T3 (estiércol + micobac), se obtuvieron volúmenes similares, 182.5 y 181.3 cm^3 respectivamente, y fueron estadísticamente iguales entre sí.

En la variedad V3 (Yurima), el mayor volumen de tubérculos por planta (211.3 cm^3) se obtuvo con el tratamiento T3 (estiércol + micobac). Asimismo, con el tratamiento T1 (Sin estiércol) la variedad Yurima registro 171.3 cm^3 de volumen de tubérculos por planta y el menor volumen (130 cm^3) se obtuvo con el tratamiento T2 (con estiércol).

En la variedad V4 (Waych'a) el tratamiento T1 (Sin estiércol) tuvo efecto favorable para que la variedad registre el mayor volumen de tubérculos (243.3 cm^3), este valor fue superior a los volúmenes obtenidos con los tratamientos T2 y T3, con 127.5 y 115 cm^3 respectivamente, estos últimos valores fueron estadísticamente iguales.

El análisis de varianza realizado al volumen individual de tubérculos (Tabla 22), muestra que hay diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para el factor variedad, en cambio para el factor tratamiento y la interacción Tratamiento*Variedad, las diferencias no fueron significativas.

De acuerdo a los resultados de la prueba de Duncan ($p < 0.05$) se observó que las variedades con mayor volumen individual de tubérculo fueron la variedad Yurima con 10.52 cm^3 y la variedad Waych'a con 9.76 cm^3 debido a que los tubérculos de estas variedades presentan mayor tamaño en condiciones de sequía siendo estadísticamente similares. Por su parte las variedades K'usillo y Saq'ampaya con 5.46 cm^3 y 5.17 cm^3 mostraron tubérculos pequeños y fueron iguales estadísticamente.

Los resultados del análisis de varianza realizado al rendimiento de papa nativa (tabla 23) muestra que existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a la variedad y diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) en la interacción Tratamiento*Variedad. Asimismo se advierte que el factor tratamiento no tuvo diferencias significativas.

Según la prueba de medias Duncan ($p < 0.05$) se observó que la variedad con mayor rendimiento fue la variedad Saq'ampaya con 3.75 Kg/m^2 , seguida de la variedad Yurima con 3.22 Kg/m^2 ambas estadísticamente diferentes. En cambio las variedades Waych'a y K'usillo con rendimientos de 2.86 y 2.47 kg/m^2 respectivamente, registraron los más bajos rendimientos pero fueron estadísticamente iguales entre sí.

En la Figura 28 muestra la diferencia de rendimiento entre las cuatro variedades con la aplicación de los tres tratamientos. Con el tratamiento T1 (Sin estiércol) la variedad V4 (Waych'a) fue la que tuvo el mayor rendimiento (4.5 Kg/m^2) y fue estadísticamente superior a las variedades V2 (Saq'ampaya), V3 (Yurima) y V1 (K'usillo) que registraron rendimientos de 3.4 , 3.2 y 2.4 Kg/m^2 respectivamente. Las variedades V2 (Saq'ampaya) y V3 (Yurima) fueron estadísticamente iguales con este tratamiento y a su vez superiores a la variedad V1 (K'usillo) esta última con el rendimiento más bajo.

Con el tratamiento T2 (con estiércol) la variedad V2 (Saq'ampaya) registro el más alto valor de rendimiento con 4.5 Kg/m^2 y fue superior a las variedades V3 (Yurima), V1 (K'usillo) y V4 (Waych'a) quienes tuvieron rendimientos iguales (2.4 kg/m^2), estas tres variedades resultaron iguales estadísticamente, con la aplicación del tratamiento con estiércol.

Con el tratamiento T3 (estiércol + Micobac) la variedad V3 (Yurima), con 3.9 kg/m^2 , fue superior en rendimiento a las variedades V2 (Saq'ampaya) y V1 (K'usillo), con 3.4 y 2.6 kg/m^2 respectivamente. En cambio la variedad V4 (Waych'a) registro el menor rendimiento (2.1 kg/m^2) con este tratamiento.

La Figura 29, muestra la diferencia de rendimientos obtenidos con cada tratamiento para cada variedad en estudio. En la variedad V1 (K'usillo) los rendimientos obtenidos con los tratamientos T3 (estiércol + micobac), T1 (Sin estiércol) y T2 (con estiércol) con promedios de 2.6 , 2.4 y 2.4 kg/m^2 respectivamente, fueron estadísticamente iguales entre sí.

En la variedad V2 (Saq'ampaya), el mayor rendimiento (4.5 kg/m^2) se obtuvo con el tratamiento T2 (con estiércol), en cambio con tratamientos T1 y T3 los promedios de rendimiento fueron iguales (3.4 kg/m^2) y fueron estadísticamente iguales entre sí.

En la variedad V3 (Yurima), el mayor rendimiento fue alcanzado con el tratamiento T3 (estiércol + micobac) (3.9 kg/m^2) y fue superior a los demás. A este valor le siguió el rendimiento logrado con el tratamiento T1 (Sin estiércol), con 3.2 kg/m^2 , y este a su vez fue superior al rendimiento alcanzado con el tratamiento T2 (con estiércol) que tiene un promedio de 2.4 kg/m^2 siendo este último inferior a todos los demás.

En la variedad V4 (Waych'a) se obtuvo el mayor rendimiento (4.5 kg/m^2) con el tratamiento T1 (Sin estiércol), y fue superior a los rendimientos obtenidos con los tratamientos T2 (con estiércol) y T3 (estiércol + micobac), con 2.4 y 2.1 kg/m^2 respectivamente, estos últimos fueron estadísticamente iguales.

5. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía y la aplicación de bioinsumo en la comunidad de Larati, Sacaba (Cochabamba)

El análisis de varianza (Tabla 24) para GM mostró diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) para tratamiento de sequía, lo cual significa que al menos uno de los tratamientos de sequía causó diferente severidad de daño por sequía. Una vez realizadas las comparaciones de medias entre los tratamientos se observó que el tratamiento de sequía causó una severidad mayor (1.26) a los otros dos tratamientos (0) (Fig. 30); por tanto, el tratamiento de sequía sí funcionó. En el anterior ensayo se observó que la severidad

promedio de daño por sequía fue mayor. Por tanto, las variedades en este ensayo sufrieron un estrés hídrico menos.

Asimismo, en el ANVA se observaron diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) entre variedades para severidad bajo el tratamiento de sequía (Tabla 24). Esto significa que al menos uno de los cultivares obtuvo un grado de severidad diferente. Una vez realizadas las comparaciones de medias se observó que las variedades Kellu Zapallo, Sakampaya, Waych'a, Yana Sutamari, Imilla Lunku, Yana Ajanhuiri y Puka Taca obtuvieron menor grado de severidad (< 1.4) y por tanto fueron más resistentes a sequía que Yana Qoyllu y Pinta Boca (> 1.8) (Fig 31). En el ensayo previo, se observó que las variedades Kellu Zapallo y Yana Ajanhuiri estuvieron entre las susceptibles. Sin embargo, esto podría deberse al estrés hídrico más severo que sufrieron en aquel entonces. Por tanto, existiría una interacción nivel de sequía por genotipo para estas dos variedades que se comportan como resistentes bajo niveles de sequía leves y como susceptibles bajo niveles de sequía más severos.

Para CR se observó también diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) entre cultivares (Tabla 24) ya que los mismos cultivares que obtuvieron mayor resistencia obtuvieron también mayor grado de recuperación. Por otra parte, las dos variedades con menor grado de resistencia también obtuvieron menor grado de recuperación (Fig. 30). Nuevamente las variedades Kellu Zapallo y Yana Ajanhuiri mostraron un comportamiento diferente al del ensayo anterior ya que en este ensayo obtuvieron buen grado de recuperación.

Para Y (Tabla 24) se observó que no existieron diferencias significativas entre tratamientos de sequía ($Pr = 0.077$). Lo cual significa que el tratamiento de sequía no mostró reducciones significativas en el rendimiento con respecto a los otros dos tratamientos (Fig. 33). Tampoco el tratamiento Riego + Lluvia fue significativamente superior en rendimiento al tratamiento de solo lluvia. Esto concuerda con lo obtenido en el anterior ensayo donde tampoco se obtuvieron diferencias significativas en rendimiento.

Por otra parte, existieron diferencias significativas en el rendimiento de las variedades ($Pr < 0.01$) y estas diferencias fueron las mismas en todos los tratamientos. Cuando se comparó el rendimiento de cada una de las diferentes variedades para cada uno de los tratamientos (Fig. 34), se observó que efectivamente ninguno de los tratamientos fue diferente en rendimiento en ninguna de las variedades a excepción de Yana Sutamari. En esta variedad se observa una disminución del rendimiento para el tratamiento de sequía con respecto al tratamiento de Riego + Lluvia. Sin embargo, el tratamiento de Lluvia fue estadísticamente igual tanto al tratamiento de Sequía como al tratamiento de Riego + Lluvia. Cuando se realizó la comparación de los rendimientos de las diferentes variedades bajo el tratamiento de sequía (Fig. 35), se observó que la variedad Waych'a fue superior en rendimiento con respecto a las variedades Yana Qoyllu, Puka Taca, Kellu Zapallo y Yana Ajanhuiri. El resto de las variedades: Yana Sutamari, Imilla Lunku, Sakampaya y Pinta Boca fueron estadísticamente iguales en rendimiento a Waych'a.

Cuando se comparó este ensayo con el ensayo previo (14 variedades nativas) se observa que en general, todas las variedades mantienen las mismas diferencias en rendimiento, a excepción de Puca Taca, que registró una disminución significativa con respecto a su rendimiento en el ensayo de 14 variedades. Esto podría explicarse debido al incremento en severidad que registró esta variedad en el presente ensayo. Esta variedad también registró una interacción genotipo por nivel de sequía siendo que bajo un estrés más severo registró mayor rendimiento y viceversa. Esto sin embargo, podría también tratarse de una pobre adaptación al ambiente.

El análisis de correlación muestra que en el tratamiento de Riego + Lluvia (Tabla 25) no existe ninguna relación importante entre el rendimiento y ninguna de las otras variables. Esto significa que no existe ninguna variable relacionada con el rendimiento en estas variedades nativas cuando se cuenta con un riego óptimo. Por otra parte, para el tratamiento de Lluvia (Tabla 25) se observa una alta y significativa positiva correlación solamente entre altura de planta y rendimiento. Esto significa que la altura de planta determina el rendimiento en las parcelas de los agricultores que se producen a secano en Larati. Finalmente, para el tratamiento de sequía (Tabla 26) se observa que existe una alta, negativa y significativa correlación entre GM con CR y CRA. Esto significa que la recuperación y el contenido relativo de agua en las hojas de las plantas resistentes fue mayor bajo sequía. Asimismo, la CR estuvo alta y positivamente relacionada con la CRA, siendo que las plantas que mejor recuperaron mostraron mayor contenido relativo de agua en las hojas.

Por otra parte, cuando se tomaron los tres tratamientos en conjunto (Tabla 27) se observó que la variable GM estuvo alta y negativamente asociada con las variables CR, NH, CF y Humedad del suelo. Esto significa que en general a mayor grado de severidad existe menor recuperación. También significa que la sequía disminuye el

número de hojas y la cobertura foliar en estas variedades. Asimismo, a menor humedad del suelo existe mayor severidad por daño de sequía.

Conclusiones

1. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas frente a los riesgos climáticos en la comunidad Cariquina grande (La Paz)

Entre las variedades que toleran estrés de sequía bajo una cubierta plástica podemos nombrar a la variedad Kusillu pero presenta un rendimiento bajo a comparación de otros, siguiendo vienen las variedades Sacampaya con una cobertura de 24,6% con un rendimiento de 5,2 t/ha, Yurima con 5,11% de cobertura foliar y presentando un rendimiento de 5,11 t/ha y finalmente a la Qaqa surimana con 24,6% con un rendimiento de 4,4 t/ha.

2. Evaluación de seis variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.), con aplicación de bioinsumo bajo condiciones de déficit hídrico en la comunidad de Jutilaya, provincia Camacho (La Paz)

Existieron diferencias significativas en el comportamiento de las seis variedades de papa bajo condiciones de estrés hídrico. El estrés hídrico afectó el desarrollo de las plantas, disminuyendo la altura, cobertura foliar y rendimiento en las seis variedades en estudio.

La aplicación de bioinsumos no tuvo efectos significativos en altura y cobertura foliar de las plantas, en el rendimiento mostró comparativamente por variedad cierta superioridad respecto a tratamientos bajo condiciones con y sin estrés hídrico de las plantas.

Utilizando la escala de reacción a sequía, la variedad Sacampaya con un valor de 2 fue la más tolerante, seguida por las variedades Ajawiri y Kusillu respecto a las otras variedades, luego de haber sido sometida a la privación de agua por un lapso de 50 días.

3. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía y a la aplicación de bioinsumos en la comunidad del Kewiñal, Colomi (Cochabamba)

El cultivar Yuraj Ajanhuiri presentó menos severidad a la sequía que 10 de los cultivares nativos incluido el testigo Waych'a. Los cultivares Bola Qoyllu, PuKa Qoyllu, Pinta Boca, Kellu Zapallo y Yana Ajanhuiri expresaron mayor susceptibilidad a sequía. Los restantes seis cultivares mostraron resistencia moderada al estrés hídrico por sequía.

Las severidades obtenidas con gallinaza y con el bioinsumo humus+micorriza fueron inferiores a la obtenida con el bioinsumo humus.

El efecto del bioinsumo en el grado de recuperación fue el mismo para todos los cultivares. Sin embargo se observó que los cultivares que mejor recuperaron fueron Puka Taca, Waych'a, Yana Sutamari, Sakampaya, Huaycho Qoyllu, Pinta Boca e Imilla Lunku, y los que menos recuperaron fueron Puka Sutamari y Yana Ajanhuiri.

El efecto de los bioinsumos sobre el rendimiento fue el mismo en todas las variedades y también fue el mismo con o sin sequía.

4. Caracterización agronómica de cuatro variedades de papa nativa con aplicación de bioinsumos bajo condiciones de sequía en el Centro Quipaquipani (La Paz)

En condiciones de "a seco" y "sequía" la variedad con mayor cantidad y peso de tubérculos fue la variedad Saq'ampaya siendo característica propia de esta variedad el tener mayor cantidad de tubérculos, se evidenció que el tratamiento con bioinsumos no causó efectos importantes en el número de tubérculos.

En condiciones "a seco" y "sequía" las variedades con mayor peso individual de tubérculos fueron Yurima y Waych'a. En la variedad Yurima se observó tubérculos de mayor tamaño pero en número reducido, en cambio la variedad Waych'a en ambas condiciones tuvo tubérculos medianos a grandes.

Las variedades Yurima y Waych'a fueron las que presentaron mayor volumen de tubérculos en condiciones de "a seco" y "sequía" presentando tubérculos relativamente grandes que no fueron afectados por el periodo de déficit hídrico.

En condición "a seco" las variedades Waych'a y Saq'ampaya fueron las que presentaron mayor rendimiento debido a que tuvieron mayor cantidad de tubérculos y mayor volumen de tubérculos por planta. En condición

de "sequía" la variedad Saq'ampaya fue la que tuvo mayor rendimiento, se evidenció que esta variedad es más tolerante a periodos de sequía en floración.

5. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía y la aplicación de bioinsumo en la comunidad de Larati, Sacaba (Cochabamba)

Entre los tres tratamientos aplicados, el tratamiento de sequía fue el que causo severidad de daño por sequía.

Las variedades que mostraron mayor grado de resistencia y recuperación fueron Kellu Zapallo, Sakampaya, Waych'a, Yana Sutamari, Imilla Lunku, Yana Ajanhuiri y Puka Taca.

La variedad que obtuvo mayor rendimiento bajo sequía fue la variedad Waych'a.

Las variables de respuesta Capacidad de Recuperación y Contenido Relativo de Agua estuvieron alta y negativamente asociadas con la resistencia a sequía en el tratamiento de sequía.

Los rendimientos de los tratamientos de Lluvia y Sequía estuvieron alta y positivamente asociados con la variable altura de planta. En general la sequía disminuye el número de hojas y la cobertura foliar en estas nueve variedades.

Referencias

- AGUILAR P. (1999). Selección de Cultivares de Quinua para Analizar su resistencia a la Sequía en Tres Ambientes de la Cuenca del Titicaca. Bolivia. Pág. 1-7.
- ALTIERI, M.A.1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst, Environ* 74; 19-31.
- Angulo, A.; M. Siles; R. Ríos; J. Gabriel. 2009. Caracterización de 118 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) del Banco de Germoplasma del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pirumani para resistencia a sequía. *Revista de Agricultura* 42 (60): 25-31.
- Artunduaga, R. y Torrez, E. 1982. Principios básicos de la ocurrencia de las heladas y su control. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica. 33 p.
- Basurto, S. 2003. Fisiología del Estrés Ambiental en Plantas. Artículo de investigación. Buenos Aires. Argentina. pp: 30
- Blum, A. 1993. Selection for sustained production in water deficit environments. *Crop Sci.* 1: 343-347.
- Cadima, X., Durán, G., Zeballos, J. 2003. Desarrollo de una colección núcleo de la colección de papa cultivada (*Solanum*ssp.) del banco de germoplasma de raíces y tubérculos andinos de Bolivia, PROINPA. Cochabamba, Bolivia, 93 p.
- CARRASCO E. (1993). Estudios de la herencia de las heladas en clones nativos *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* de Bolivia. Universidad Agraria La Molina. Lima – Perú. 52 p.
- CARRILLO S., J.A.; LIVERA M.,M.; ORTÍZ C., J.; MENDOZA O., L. E. 1993. Relaciones térmicas en las hojas de cuatro cultivos durante heladas invernales, en Montecillos, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 16(3): 113-133.
- Carrillo, C. R. 1998. Calibración del modelo de simulación lintul para describir el efecto de lasheladas sobre el rendimiento de cultivo de papa. U.T.O, Oruro, Bolivia. pp: 50-52.
- Ceccarelli, S. 1984. Plant responses to water stress. *Gen. Agr.* 38:43-74.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 2008. La papa y la biodiversidad. Cartilla informativa. Lima, Perú. 15 p.
- Choque, E.; Espinoza, R.; Cadima, X.; Zeballos, Gabriel, J. 2007. Resistencia a helada en germoplasma de papa nativa de Bolivia *Revista Latinoamericana de la Papa.* 14(1): 24-32
- CIP (Centro Internacional de la Papa). (2008). La papa y la biodiversidad. Cartilla informativa sobre el papa.
- Dominguez, A. 2010 XVI Simposium Internacional sobre el manzano y frutales de clima templado.
- Ekanayake, I.J. (1993), Estudios sobre el estrés hídrico por sequía y necesidades de riego de la papa. Lima Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 38 p.
- Estrada, R.N. 2000. La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martinez (eds.) La Paz, Bolivia. 372 p.

- Fairlie, T. 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.
- Ferraris, G. y Ponsa, J. C. 2008. Efecto De La Fertilización Foliar Complementaria en la Recuperación Post-Estrés de Soja afectada por Bajas Temperaturas. Proyecto Regional Agrícola-CERBAN. Área de Desarrollo Rural INTA EEA. Pergamino, Argentina
- Gabriel J., Ortuño N., Franco J., Plata G., Angulo A. y Magne J. 2010. Manual metodológico para la evaluación de resistencia y/o susceptibilidad de factores bióticos y abióticos en papa (*Solanum tuberosum* L.)
- Gabriel J, Porco P, Angulo A, Magne J, La Torre J, Mamani P (2011) Genetic resistance to water stress by drought in potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under greenhouse conditions. *Revista Latinoamericana de la Papa* (Perú) Vol. 16 (2): 173 - 208.
- Gabriel, J. 2010. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. ISBN: 978-99954-743-2-4, Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- Gabriel, J. y Carrasco, E. 1.998. Evaluación Preliminar de la Resistencia Durable al tizón *Phytophthora infestans* en Cultivos Nativos de Papa del Banco de Germoplasma Boliviano. En: Dania, D., Chicaiza, O. (eds.). Segundo Taller de PREDUZA en Resistencia Duradera en cultivos Altos en la Zona Andina. 22-24. Septiembre de 1.998. Cochabamba, Bolivia. P 153-158.
- Gandarillas A. y Ortuño N. 2009. Compendio de Enfermedades, Insectos, Nematodos y factores Abióticos que afectan al Cultivo de la Papa en Bolivia, Cochabamba, Bolivia.
- Gonzales A (2009) aplicación del medidor portátil de clorofila En programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología* 4: 111-116.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), 2007. Informe síntesis sobre Cambio Climático. Suecia, pp: 2 - 4.
- Hijmans, R. J. 2002. Diversidad y ecología de la papa. Ph.D. Tesis doctoral. Universidad Americana Journal de Botánica, pp: 25 - 36.
- Hooker, W.J. 1982. Compendio de enfermedades de la papa. Trad. del Inglés por Teresa Ames de Icochea. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 165 pp.
- HUAMÁN, Z. Y GÓMEZ, R. 1994. Descriptores de Papa para la Caracterización Básica de Colecciones Nacionales. Edición actualizada. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima. 10p.
- IBTA Y PROINPA, (1994). Catalogo Boliviano de Cultivares de Papa Nativa No. 2. Cochabamba – Bolivia.
- INE. 2012. Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. En: www.ine.gov.bo
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE). 2008. Bolivia: Eventos adversos de origen natural reportados, según tipo de evento, 2002–2008. <http://www.ine.gov.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC80601.HTM>. Consulta: Julio - 2011.
- INTA 2007. Guía rápida para determinar la cobertura vegetal, EEAC. Del Uruguay. Pag 9.
- Iriarte V, Condori B, Parapo D, Acuña D (2009) Catálogo etnobotánico de papas nativas del Altiplano Norte de La Paz-Bolivia. Cochabamba, Bolivia. 142 pp.
- J. Leyva-Carmona; J. S. Barrales-Domínguez, 2001. COBERTURA VEGETAL Y DAÑOS AUSADOS POR HELADA EN PAPA (*Solanum tuberosum* L.) *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7(2): 151-158.
- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press Inc, N.Y. 389 p.
- KSENZHEK, O. S.; VOLKOV, A. G. 1998. Plant Energetics. Academic Press. USA. 389 p.
- Le Tacon, Ph., J.J. Vacher, M.Eldin, E. Imaña. 1991. Los riesgos de helada en el altiplano Boliviano. En: Morales, D., J.a. Vacher. 1991. Actas VII Congreso Internacional sobre cultivos andinos. IBTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia.
- LUDWIG Y REYNOLDS (1988) STATISTICAL ECOLOGY: A PRIMER ON METHODS AND COMPUTING.
- LYONS, J. M. 1979. Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27: 507-528.

- Mamani, P. 2000. Effet de la secheresse sur six varietés de pomme de terre dans les andes boliviennes. Tesis M.Sc., Universite Catholique de Louvain, Faculte des Sciences Agronomiques, Bélgica. 43 p.
- Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad 2006, Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt, 149-185 pag.
- Martinez – Garza, A. 1988. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Trillas, México D. F., Mexico. 756 p.
- Mendoza P.R. 2003. Cultivo y Comercialización de la Papa, Ediciones Ripalme, Perú.
- Miller, D.E.; M.W. Marti. 1987. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. *Am. Potato. J.* 64: 17-26.
- MORENO, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T – Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- MRDyT. 2012. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia. En: www.agrobolivia.gob.bo
- Nuñez-Barrios, A.; Foster, E. 1996. Efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento de hojas, tallos y vainas de frijol. *Agricultura Tec. en México* 22:99-109
- Ochoa, C. 2001. Las papas de Sudamérica: Bolivia. Plural editores/CID. 535 p.
- Ortuño N, Navia O, Medrano A, Rojas K, Torrico L (2010) Desarrollo de Bioinsumos: Un Aporte Importante a la Soberanía Alimentaria de Bolivia. *Revista de Agricultura (47)*: 31-35.
- Ortuño N, Navia O, Meneces E, Borja D, Villca S, Plata G, Claros M, Gutiérrez C, Arandia W, Crespo L, S/F. Catalogo de Bioinsumos para mejorar la producción de los cultivos ecológicos y convencionales. PROINPA-BIOTOP, Cochabamba, Bolivia. P.13-14.
- Programa Nacional de Cambios Climático (PNCC). 2009. Ministerio de Planificación del Desarrollo. La Paz – Bolivia, pp: 128 - 130.
- PROINPA. (1998). Informe compendio del programa de investigación de la papa, PROINPA, COTESU, Cochabamba – Bolivia.
- PROINPA. 1996. Selección y difusión de cultivares con tolerancia a factores abióticos. *En: Informe anual Compendio 1994-1.995 IBTAPROINPA, CIP. COTESU. Cochabamba- Bolivia.* p. 29-33
- Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA). 2009. Informe Compendio de Recursos Genéticos, Cochabamba, Bolivia, 12 p.
- Raes D. y García M. 2011. Compendio - trabajos de Investigación, Proyecto QUINAGUA, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT Users Guide, Version 9.2, Fourth Edition, Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Siles M (2005) Diseño de bloques incompletos con una sola repetición en la evaluación preliminar de material avanzado en programas de mejoramiento genético de cultivos. *Revista de Agricultura* 34: 39-45.
- Snyder, R. y Melo-Abreu J. P. de. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. FAO. Roma-Italia. 241 p.
- STUCKERY H. T.; CURTIS, O.T. 1938. Ice formation and the death of plants cells by freezing. *Plant Physiol.* 13: 815-833.
- Terrazas F, Cadima X, García R & Zeballos J (2008) Catálogo etnobotánico de papas nativas. Tradición y cultura de los Ayllus del Norte Potosí y Oruro. *Ricerca & Cooperazione, Unión Europea, Centro de Apoyo a Desarrollo, GTZ, Fundación PROINPA, MDRyMA. Cochabamba - Bolivia.* 189 p.
- YORIKO YASUKAWA, 2011. Tras las huellas del cambio climático en Bolivia. PNUD Bolivia. Impresion ABBASE Ltda, La Paz. p.150.
- Zeballos H. 1997. Aspectos Económicos de la Producción de papa en Bolivia. COSUDE, CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú.
- ZEBALLOS H., BALDERRAMA C., CONDORI B., y BLAJOS J. (2009). Economía de la papa en Bolivia (1998-2007), Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. Pág. 41.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Combinación de los tratamientos utilizados en la evaluación de cultivares de papa nativa a sequía en Cariquina grande (La Paz), 2010-2011.

TRATAMIENTO	COMBINACION	TRATAMIENTO	COMBINACION
T1	a1b1	T13	a2b1
T2	a1b2	T14	a2b2
T3	a1b3	T15	a2b3
T4	a1b4	T16	a2b4
T5	a1b5	T17	a2b5
T6	a1b6	T18	a2b6
T7	a1b7	T19	a2b7
T8	a1b8	T20	a2b8
T9	a1b9	T21	a2b9
T10	a1b10	T22	a2b10
T11	a1b11	T23	a2b11
T12	a1b12	T24	a2b12

Donde: a1: Con cubierta plástica, a2: Sin cubierta plástica, b1: Kusillu (*Solanum Stenotomum*), b2: Q'illu puya (*Solanum stenotomum*), b3: Runtu papa (*Solanum stenotomum*), b4: Qaqa surimana (*Solanum stenotomum*), b5: Chiyara phiñu (*Solanum stenotomum*), b6: Phureja (*Solanum phureja*), b7: Janq'u K'awiri (*Solanum x ajahuiri*), b8: Chiyara K'awiri (*Solanum x ajahuiri*), b9: Yurima (*Solanum stenotomum*), b10: Sacampaya (*Solanum andigena*), b11: Waych'a (*Solanum andigena*), b12: Lucki (*Solanum x juzepczukii*).

Tabla 2. Escala de reacción a sequía

ESCALA	Reacción
0	Planta igual al testigo
1	Planta ligeramente marchita y/o con amarillamiento incipiente y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame incipiente.
2	Planta marchita en un 50% de sus hojas y/o con amarillamiento moderado y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame moderado.
3	Planta marchita en un 75% de sus hojas y/o con amarillamiento avanzado y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame avanzado.
4	Planta completamente marchita en un 100% y/o con amarillamiento total (excepto brotes) y/o desecación total de las hojas y/o necrosis total del ápice de las hojas (excepto brotes) y/o caída total de las hojas (excepto brotes) y/o acame total.
5	Planta muerta.

Fuente: Angulo *et al.* (2008), citado por Gabriel *et al.* (2010)

Tabla 3. Cultivares evaluados por su reacción al estrés hídrico por sequía y a la aplicación de bioinsumos en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

Cultivar	Especie	Ploidía	Procedencia
Yana qoyllu	stn	2n=2x=24	Candelaria
Puca taca	stn	2n=2x=24	Candelaria
Pinta boca	stn	2n=2x=24	Candelaria
Candelerero	stn	2n=2x=24	Candelaria
Imilla lunku	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Yana sutimari	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Puca sutimari	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Sakampaya	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Huaychu Qoyllu yana	stn	2n=2x=24	Norte Potosí
K'ellu zapallo	gon	2n=2x=24	Norte Potosí
Sani imilla	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Yana ajanhuiri	ajh	2n=2x=24	Norte Potosí
Yuraj ajanhuiri	ajh	2n=2x=24	Norte Potosí
Bola qoyllu	stn	2n=2x=24	Norte Potosí
Waych'a	adg	2n=4x=48	Cochabamba

Leyendas: stn: *Solanum stenotomum*, gon: *S. goniocalyx*, ajh: *S. ajanhuiri*, adg: *S. andigena*.

Fuente: Iriarte *et al.* (2009), Terrazas *et al.* (2008).

Tabla 4. Especie, ploidía y procedencia de ocho cultivares nativos de papa evaluados por su reacción al estrés hídrico por sequía junto al testigo comercial Waych'a en Larati- Colomi (Cochabamba) Año 2012.

Cultivar	Especie	Ploidía	Procedencia
Yana qoyllu	stn	2n=2x=24	Candelaria
Puca taca	stn	2n=2x=24	Candelaria
Pinta boca	stn	2n=2x=24	Candelaria
Imilla lunku	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Yana sutimari	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Sakampaya	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
Kellu zapallo	gon	2n=2x=24	Norte Potosí
Yana ajanhuiri	ajh	2n=2x=24	Norte Potosí
Waych'a	adg	2n=4x=48	Cochabamba

Legendas: stn: *Solanum stenotomum*, gon: *S. goniocalyx*, ajh: *S. ajanhuiri*, adg: *S. andigena*.

Fuente: Iriarte et al. (2009), Terrazas et al. (2008).

Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de planta de cultivares de papa nativa evaluados en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

FV	GL	CM	Pr > F
Bloque	2	85.277.778	0.8035 ns
Estrés hídrico	1	1.553.496.889	0.0069 **
Estrés hídrico*bioinsumo	1	52.272.222	0.6062 ns
Variedad	5	4.428.695.111	0.0018 **
Estrés hídrico*variedad	5	1.036.060.444	0.3904 ns
Bioinsumo	1	299.538.000	0.2203 ns
Variedad*bioinsumo	5	1.772.610.000	0.1262 ns
Estrés hídrico*variedad*bioinsumo	5	170.811.778	0.9702 ns
Error	45		
Total	70		

CV = 21.7%

Tabla 2. Análisis de Varianza para la cobertura foliar de cultivares de papa nativa evaluados en Jutilaya (Cariquina)- La Paz. 2011-2012

FV	GL	CM	Pr > F
Bloque	2	9.752.186	0.6541 ns
Estrés hídrico	1	53.616.566	0.0353 *
Estrés hídrico*bioinsumo	1	13.305.624	0.2853 ns
Variedad	5	4.413.083.575	<.0001 **
Estrés hídrico*variedad	5	197.879.376	0.0096 **
Bioinsumo	1	0.023042	0.9643 ns
Variedad*bioinsumo	5	242.142.631	0.0030 **
Estrés hídrico*variedad*bioinsumo	5	21.255.570	0.8641 ns
Error	45		
Total	70		

CV = 12%

Tabla 7. Capacidad de tolerancia a la sequía de las plantas de cultivares de papa nativa en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

Variedad	% de plantas afectadas	Nivel de estrés
Sacampaya	34	2
Surimana	33	2
Kusillu	50	2
Ajawiri	10	2
Waycha	20	3
Yurima	19	3

Tabla 8. Resultados de evaluación según la escala de reacción a sequía de cultivares de papa nativa en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

Variedad	% de plantas evaluadas	Estado inicial del estrés 0 DDEH	Niveles de estrés		
			2 DDEH	7 DDEH	15 DDEH
Sacampaya	33	2	2	2	1
Surimana	33	2	2	2	2
Kusillo	50	2	2	2	1
Ajawiri	10	2	2	2	1
Waycha	20	3	3	3	3
Yurima	19	3	3	3	3

DDEH = Días después del ésteres hídrico

Tabla 9. Análisis de varianza en rendimiento para seis cultivares de papa nativa en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

FV	GL	CM	Pr > F
Bloque	2	16731176.4	0.0459 *
Estrés hídrico	1	228766050.0	0.001 **
Estrés hídrico*bioinsumo	1	3920000.0	0.3841 ns
Variedad	5	13669118.9	0.0324 *
Estrés hídrico*variedad	5	9103276.7	0.1330 ns
Bioinsumo	1	1881800.0	0.5456 ns
Variedad*bioinsumo	5	4136726.7	0.5451 ns
Estrés hídrico*variedad*bioinsumo	5	2081133.3	0.8393 ns
Error	45		
Total	70		

CV= 26.7%

Tabla 10. Análisis de varianza (ANVA) para severidad y rendimiento en cultivares nativos sometidos a estrés hídrico por sequía y reacción a la aplicación de bioinsumos en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

F.V.	gl	C.M.		
		GM	CR	Y (t/ha)
Blq	2	0.068	0.088	0.238
Sequia	1	13.273	2.406	0.932
Blq*Sequia	2	0.068	0.088	0.254
Bioinsumo (bio)	2	0.342**	0.385**	18.313**
Cultivar (cult)	14	0.184**	0.140**	2.081**
Bio*Sequia	2	0.342**	0.385**	0.289
cult*Sequia	14	0.184**	0.140**	0.188
cult*Bio	28	0.033	0.044	0.418
cult*Sequia*Bio	28	0.033	0.044	0.067
C.V.		17.907	24.67	25.729
R ²		0.979	0.948	0.918

** Diferencias significativas a Pr<0.01

Tabla 11. Correlación de Pearson de todas las variables de respuesta evaluados para el estrés hídrico por sequía y el uso de bioinsumos en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

	GM	CR	PC	NT	PT	MSF	MSR	LR	VR	Y
GM	1.00	0.52**	-0.11ns	0.08ns	-0.13ns	-0.34**	-0.30**	-0.27**	0.27**	-0.32**
CR		1.00	-0.16ns	0.02ns	0.001ns	-0.23*	-0.26**	-0.22*	-0.23**	-0.20*
PC			1.00	0.07ns	0.02ns	-0.00ns	0.08ns	0.05ns	0.05ns	0.11ns
NT				1.00	0.34**	0.28*	0.11ns	0.12ns	0.12ns	0.22ns
PT					1.00	0.15ns	0.08ns	0.00ns	0.18ns	0.40**
MSF						1.00	0.44**	0.41**	0.36**	0.65**
MSR							1.00	0.32**	0.59**	0.37**
LR								1.00	0.36**	0.42**
VR									1.00	0.35**
Y										1.00

Leyendas: PC - Porcentaje de clorofila, GM – Grado de marchitez o Severidad (0: Normal, 5:muerto), CR – Capacidad de recuperación (0: no recupera, 5: Completamente recuperado), LR - Longitud de raíz (cm), VR – Volumen de raíz (cm³), MSF – Materia seca de follaje (g), MSR – Materia seca de raíz (g), Y – Rendimiento (t/ha), NT – Número de tubérculos, PT – Peso de tubérculos (g), ** - Altamente significativo al Pr<0.01, * - Significativo, ns – no significativo, Números en negrilla son las correlaciones moderadas y significativas.

Tabla 12. Análisis de Varianza para Número de tubérculos de cultivares de papa nativa sometidos a sequía (y afectados por heladas) en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	58.97	29.49	0.76	0.4759 NS
Variedad	3	2 289.01	763.00	19.7	<,0001 **
Tratamiento*variedad	6	548.31	91.38	2.36	0.0551 NS
Error	30	1 162.17	38.74		
Total corregido	41	3 902.50			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV= 28,95%

Tabla 13. Análisis de Varianza para Peso de tubérculos por planta de cultivares de papa nativa sometidos a sequía (y afectados por heladas) en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	22 447.38	11 223.69	2.73	0.079 NS
Variedad	3	168 987.9	56 329.31	13.71	<,0001 **
Tratamiento*variedad	6	70 852.56	11 808.76	2.87	0.0221 *
Error	35	143 836.49	4 109.61		
Total corregido	46	407 415.17			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV= 24.57%

Tabla 14. Análisis de Varianza para Peso individual de tubérculos de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	3.76	1.88	0.11	0.8948 NS
Variedad	3	1 145.40	381.80	22.67	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	168.71	28.12	1.67	0.1586 NS
Error	34	572.51	16.84		
Total corregido	45	1 900.24			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV= 28.51%

Tabla 15. Análisis de Varianza para Volumen de tubérculos por planta de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	20 641.93	10 320.97	2.92	0.0674 NS
Variedad	3	129 809.0	43 269.67	12.25	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	58 832.42	9 805.40	2.78	0.0263 *
Error	34	120 077.67	3 531.70		
Total corregido	45	327 698.43			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=23.83%

Tabla 16. Análisis de Varianza para Volumen individual de tubérculos en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	6.29	3.14	0.2	0.8221 NS
Variedad	3	992.19	330.73	20.72	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	155.13	25.85	1.62	0.1719 NS
Error	34	542.72	15.96		
Total corregido	45	1 706.99			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=29.46%

Tabla 17. Análisis de Varianza para Rendimiento (kg/m²) en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	6.76	3.38	2.73	0.0792 NS
Variedad	3	50.87	16.96	13.69	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	21.37	3.56	2.88	0.022 *
Error	35	43.35	1.24		
Total corregido	46	122.74			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=24.57%

Tabla 18. Análisis de varianza para Número de tubérculos cosechados en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	32.13	16.06	0.36	0.7034 NS
Variedad	3	2 623.54	874.51	19.36	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	284.18	47.36	1.05	0.4132 NS
Error	32	1 445.42	45.17		
Total corregido	43	4 582.98			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV= 29.25%

Tabla 19. Análisis de Varianza para peso de tubérculos por planta en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	5 705.12	2 852.56	1.04	0.3631 NS
Variedad	3	32 880.9	10 960.31	4.01	0.0151 *
Tratamiento*variedad	6	56 430.20	9 405.03	3.44	0.0092 **
Error	34	92 906.51	2 732.54		
Total corregido	45	187 367.41			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=29.51%

Tabla 20. Análisis de Varianza para peso individual de tubérculos en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	23.04	11.52	2.47	0.1006 NS
Variedad	3	259.42	86.47	18.53	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	49.90	8.32	1.78	0.1343 NS
Error	32	149.31	4.67		
Total corregido	43	474.82			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=27.48%

Tabla 21. Análisis de Varianza para volumen de tubérculos por planta en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	5 624.16	2 812.08	1.13	0.3348 NS
Variedad	3	29 131.05	9 710.35	3.90	0.0169 *
Tratamiento*variedad	6	49 946.70	8 324.45	3.35	0.0107 *
Error	34	84 597.67	2 488.17		
Total corregido	45	168 609.30			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=30.15%

Tabla 22. Análisis de Varianza para volumen individual de tubérculos en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	29.62	14.81	3.13	0.0571 NS
Variedad	3	257.12	85.71	18.09	<.0001 **
Tratamiento*variedad	6	61.56	10.26	2.17	0.0719 NS
Error	33	156.38	4.74		
Total corregido	44	513.07			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=28.87%

Tabla 23. Análisis de Varianza para rendimiento (kg/m²) en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	2	1.72	0.86	1.05	0.3626 NS
Variedad	3	9.88	3.29	4.01	0.0152 *
Tratamiento*variedad	6	17.04	2.84	3.45	0.009 **
Error	34	27.96	0.82		
Total corregido	45	56.44			

** = Altamente Significativo. * = Significativo NS = No Significativo CV=29.48%

Tabla 24. Componentes de varianza de grado de severidad para 9 genotipos nativos de papa sometidos a sequia en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

F.V.	GI	GM		CR		Y	
		F	σ^2	F	σ^2	F	σ^2
Repetición	3		0		0		0,031
Bloque (Repetición)	33		0		0		0,013
Sequia	1	310,29**		684140,53**		2,78	
Repetición*Sequia	3		<0,01		0		0
Variedad	8	6,48**		8,84**		17,73**	
Sequia*Variedad	16	6,07**		8,29**		1,43	
Repetición*Sequia*Variedad	48		<0,01		0,175		<0,01

*= Significativo (Pr<0,05), **=Altamente significativo (Pr<0,01).

Tabla 25. Coeficientes de correlación de Pearson entre nueve variables morfológicas y fisiológicas y rendimientos evaluados bajo dos tratamientos de sequia en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

	ALT	NT	NH	CC	CRA	CF	NTUB	Y
Y	0,151	0,317	0,335	0,182	0,126	-0,230	0,234	1
Riego + Lluvia	0,549	0,200	0,174	0,469	0,620	0,355	0,350	0
Y	0,537	-0,060	0,098	0,088	-0,060	0,016	0,085	1
Lluvia	<0,001	0,725	0,569	0,611	0,733	0,925	0,620	0

Leyendas: ALT: Altura de planta, NT: Número de tallos, NH: Número de hojas, CC: Contenido de clorofila, CRA: Contenido relativo de agua en las hojas, CF: Cobertura Foliar, NTUB: Número de tubérculos y Y: Rendimiento (t/ha). Números en negrilla son las correlaciones altas y significativas.

Tabla 26. Coeficientes de correlación de Pearson entre diez variables morfológicas y fisiológicas y GR, CR y Y bajo un tratamiento de sequia (suspensión del riego por un mes) en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

	GM	CR	ALT	NT	NH	CC	CRA	CF	NTUB	Y
GM	1	-0,862	-0,137	0,036	-0,251	-0,152	-0,754	0,201	-0,295	-0,294
	0	<0,001	0,587	0,888	0,315	0,548	<0,001	0,424	0,235	0,237
R	-0,862	1	0,203	-0,006	0,304	0,056	0,778	-0,188	0,209	0,199
	<0,001	0	0,420	0,979	0,220	0,826	<0,001	0,456	0,404	0,429
Y	-0,294	0,199	0,729	0,464	0,156	0,079	0,071	0,161	0,039	1
	0,237	0,429	<0,001	0,052	0,537	0,754	0,779	0,524	0,877	0

GM: Grado de marchitez o Severidad (0: Normal, 5: muerto), CR: Capacidad de recuperación (0: no recupera, 5: Completamente recuperado), ALT: Altura de planta, NT: Número de tallos, NH: Número de hojas, CC: Contenido de clorofila, CRA: Contenido relativo de agua en las hojas, CF: Cobertura Foliar, NTUB: Número de tubérculos y Y: Rendimiento (t/ha). Números en negrilla son las correlaciones altas y significativas.

Tabla 27. Coeficientes de correlación de Pearson para once variables morfológicas y fisiológicas y GR, CR y Y bajo tres tratamientos de sequia en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

	GM	R	ALT	NT	NH	CC	RCA	CF	NTUB	Y	HUM
GM	1	-0,662	0,161	0,068	-0,363	0,045	-0,049	-0,448	-0,148	-0,261	-0,93
	0	<0,001	0,177	0,572	<0,001	0,709	0,6821	<0,001	0,216	0,027	<0,001
R	-0,662	1	0,006	-0,029	0,278	-0,006	0,2202	0,122	0,093	0,173	0,402
	<0,001	0	0,960	0,807	0,018	0,959	0,0631	0,309	0,437	0,146	<0,001
Y	-0,261	0,173	0,391	0,206	0,229	0,141	0,0142	0,118	0,083	1	0,237
	0,027	0,146	<0,001	0,082	0,053	0,236	0,9057	0,323	0,489	0	0,045
HUM	-0,930	0,402	-0,203	-0,045	0,338	-0,058	-0,043	0,519	0,129	0,237	1
	<0,001	<0,001	0,087	0,709	0,004	0,628	0,7226	<0,001	0,280	0,045	0

GM: Grado de marchitez o Severidad (0: Normal, 5: muerto), CR: Capacidad de recuperación (0: no recupera, 5: Completamente recuperado), ALT: Altura de planta, NT: Número de tallos, NH: Número de hojas, CC: Contenido de clorofila, CRA: Contenido relativo de agua en las hojas, CF: Cobertura Foliar, NTUB: Número de tubérculos y Y: Rendimiento (t/ha). HUM: Porcentaje de humedad del suelo. Números en negrilla son las correlaciones altas y significativas.

Figura 1. Estructuras de la cubierta con plástico para simular condiciones de sequía



Figura 2. Cobertura foliar entre variedades con estrés y sin estrés en Cariquina Grande-La Paz. 2010-2011.

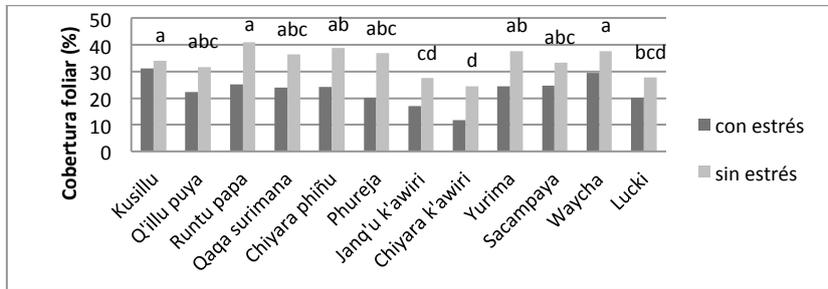


Figura 3. Rendimientos promedio entre las variedades con estrés y sin estrés en Cariquina Grande-La Paz. 2010-2011

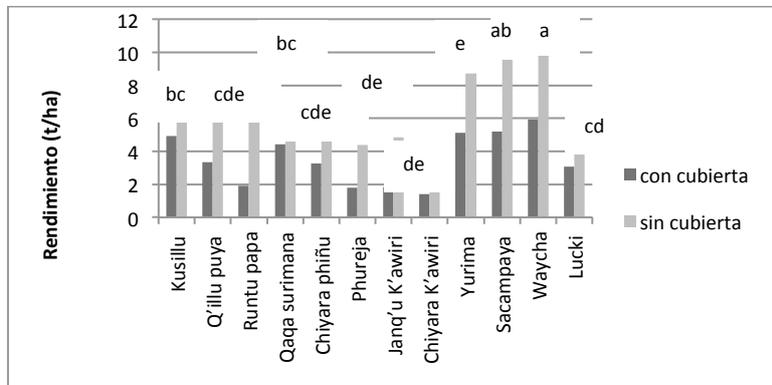


Figura 4. Comportamiento de la humedad del suelo en Cariquina Grande-La Paz. 2010-2011

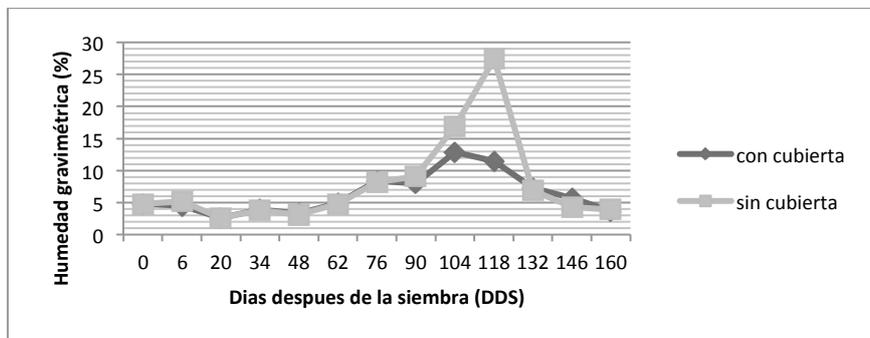


Figura 5. Prueba de medias en altura de planta de seis variedades de papa nativa en Jutilaya (Cariquina)-La Paz. 2011-2012

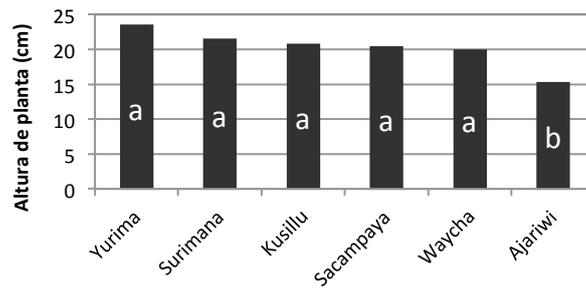


Figura 6. Prueba de medias para cobertura foliar de seis variedades de papa nativa en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

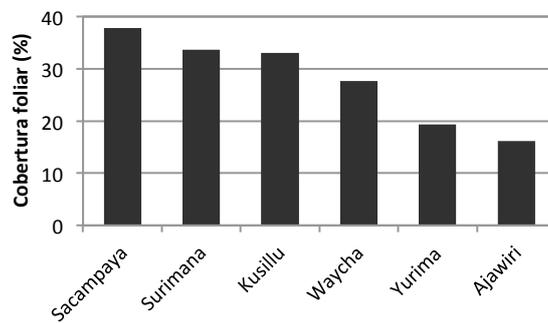


Figura 7. Prueba de medias para rendimiento de seis cultivares de papa nativa en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

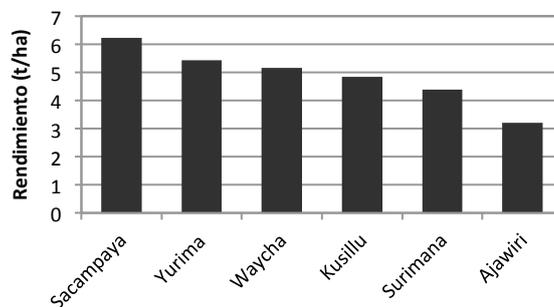


Figura 8. Rendimiento de seis variedades de papa nativa bajo condiciones con y sin estrés hídrico en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

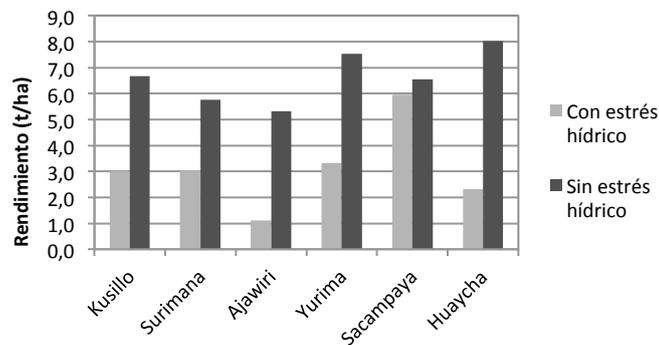


Figura 9. Rendimiento de seis variedades de papa nativa con y sin aplicación de bioinsumos, bajo condiciones A) tratamiento sin estrés hídrico “sin cubierta plástica” y B) tratamiento con estrés hídrico “con cubierta plástica” en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

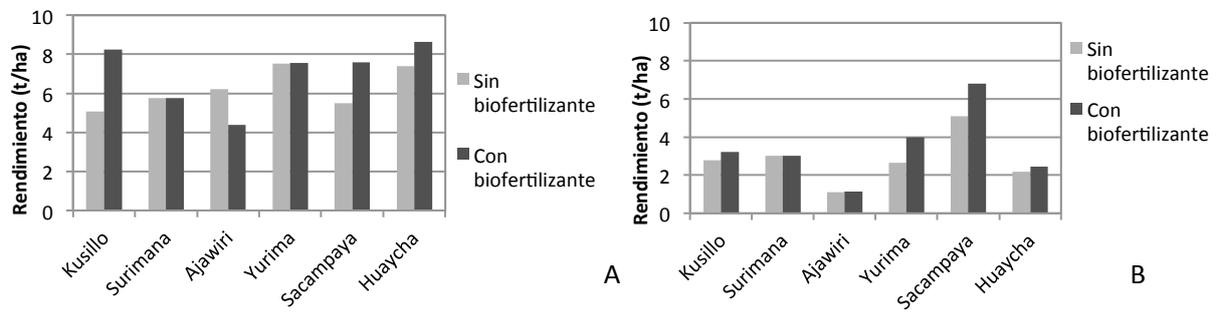


Figura 10. Comportamiento de la humedad de suelo en tratamiento sin estrés hídrico (sin cubierta) y con estrés hídrico (con cubierta plástica) de cultivares de papa nativa en Jutilaya (Cariquina) – La Paz. 2011-2012

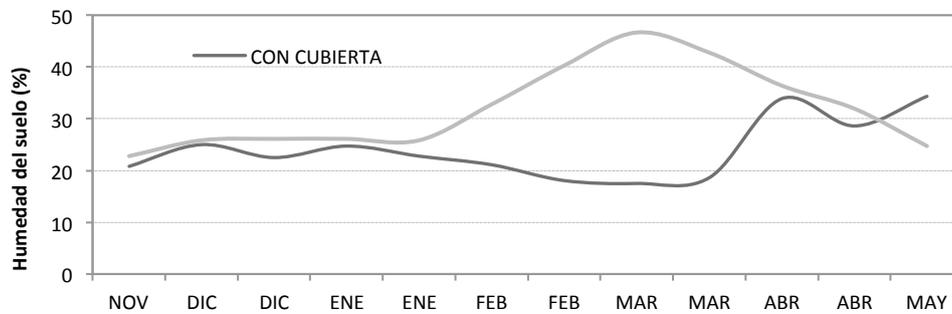


Figura 11. Medias de severidad para 15 cultivares nativos sometidos a sequía y aplicación de bioinsumos en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

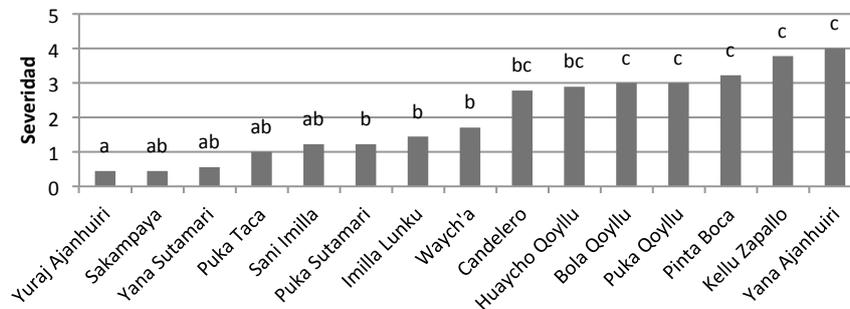


Figura 12. Medias de severidad para tres bioinsumos aplicados en 15 cultivares nativos sometidos a sequia en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

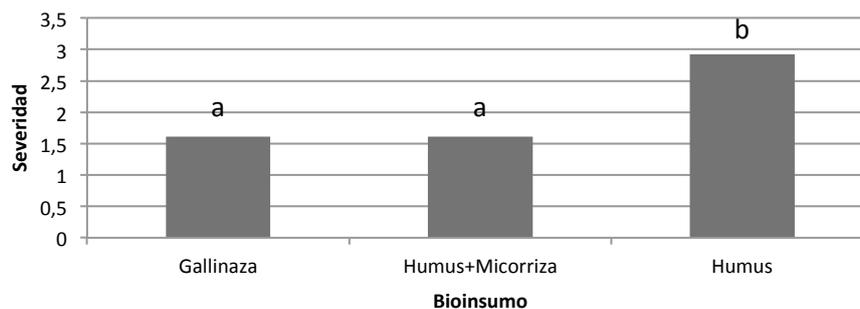


Figura 13. Medias de Grado de recuperación para 15 cultivares nativos sometidos a sequía y aplicación de bioinsumos en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

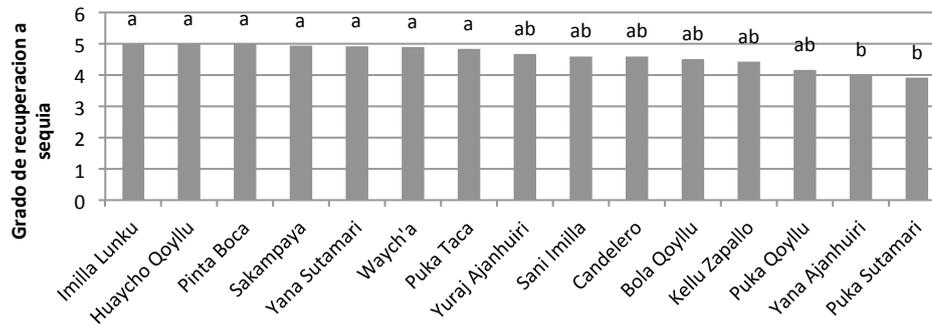


Figura 14. Medias del grado de recuperación para tres bioinsumos aplicados en 15 cultivares nativos sometidos a sequía en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). 2012

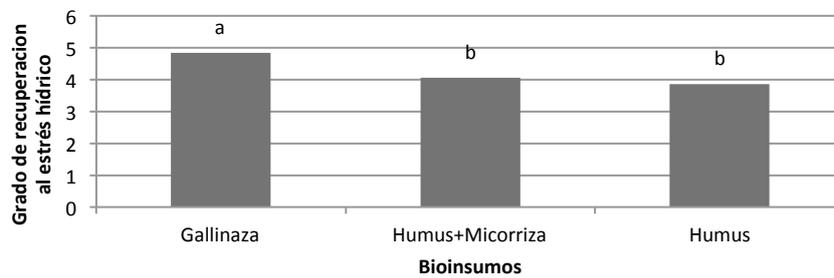


Figura 15. Rendimientos (t/ha) para 15 cultivares nativos sometidos a sequía y aplicación de bioinsumos en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

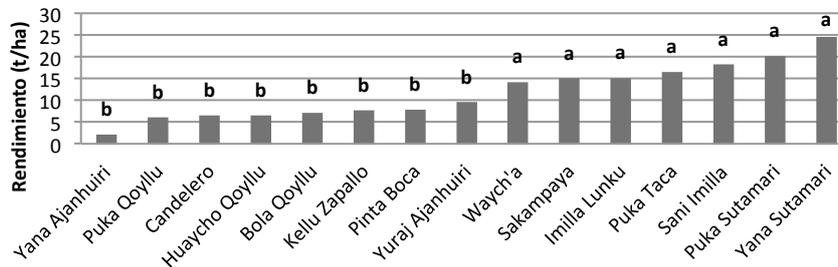


Figura 16. Rendimientos (t/ha) para dos bioinsumos y gallinaza bajo sequía y riego normal aplicados en 15 cultivares nativos de papa en Kewiñal, Colomi (Cochabamba). Año 2012

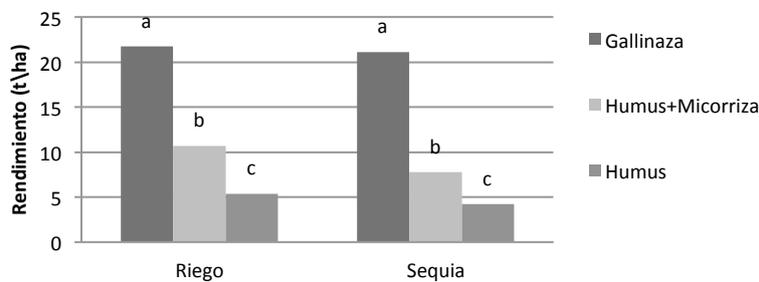


Figura 17. Daño causado por heladas a los 19 días de iniciado el tratamiento de sequía en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013



Figura 18. Comparación de medias Duncan para el peso de tubérculos por planta (g) para la interacción variedad por tratamiento de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

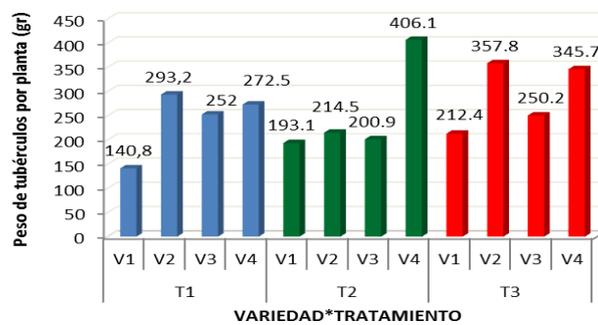


Figura 19. Comparación de medias Duncan para el peso de tubérculos por planta (g) para la interacción tratamiento por variedad de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

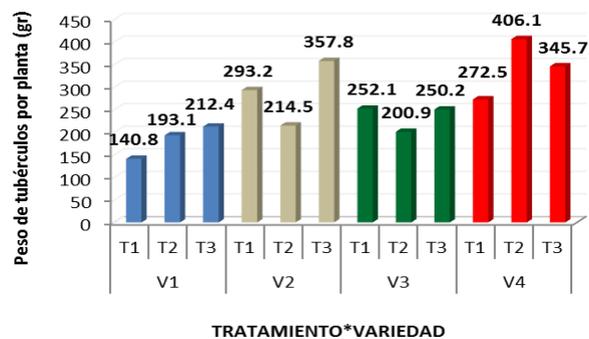


Figura 20. Comparación de medias Duncan para el volumen de tubérculos por planta (cm³) para la interacción variedad por tratamiento en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013



Figura 21. Comparación de medias Duncan para el volumen de tubérculos por planta (cm^3) para la interacción tratamiento por variedad en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

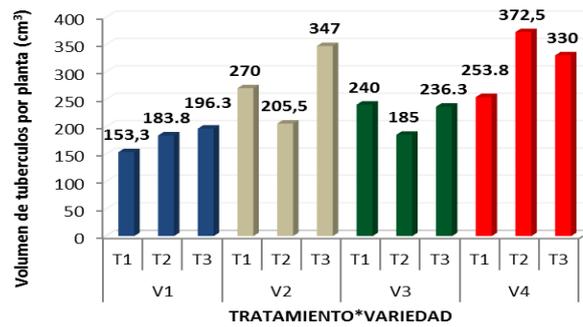


Figura 22. Comparación de medias Duncan para el rendimiento (Kg/m^2) para la interacción variedad por tratamiento en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

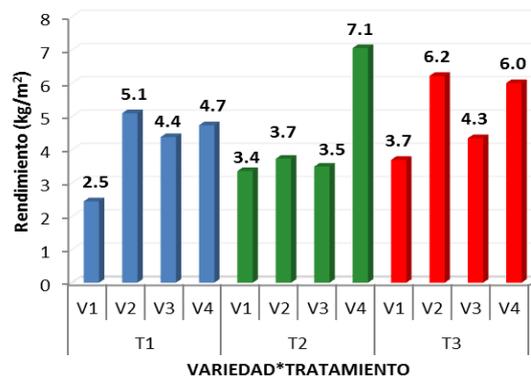


Figura 23. Comparación de medias Duncan para el rendimiento (Kg/m^2) para la interacción tratamiento por variedad en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

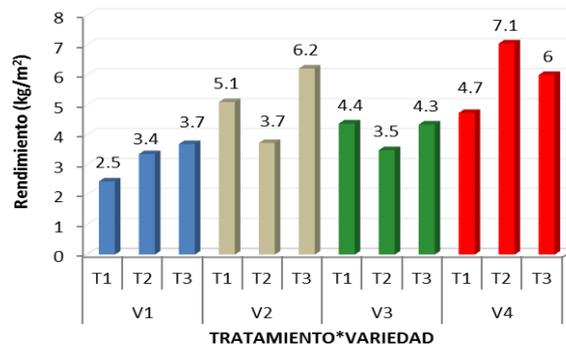


Figura 24. Comparación de medias Duncan para peso de tubérculos por planta (g) para la interacción variedad por tratamiento en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013



Figura 25. Comparación de medias Duncan para el peso de tubérculos por planta (g) para la interacción tratamiento por variedad en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

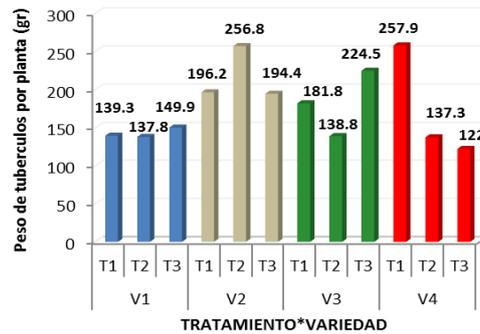


Figura 26. Comparación de medias Duncan para volumen de tubérculos por planta (cm³) para la interacción variedad por tratamiento en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

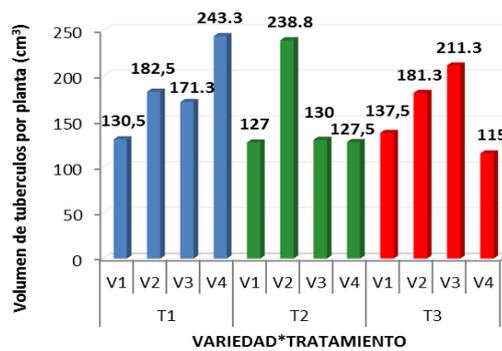


Figura 27. Comparación de medias Duncan para volumen de tubérculos por planta (cm³) para la interacción tratamiento por variedad en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

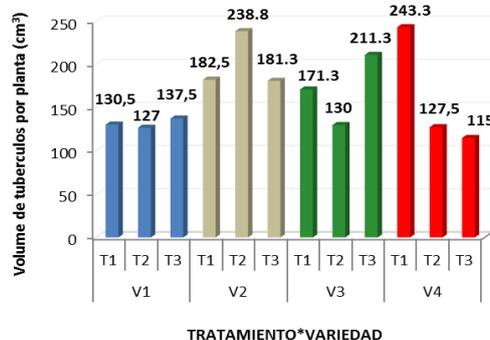


Figura 28. Comparación de medias Duncan para rendimiento (kg/m²) para la interacción variedad por tratamiento en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

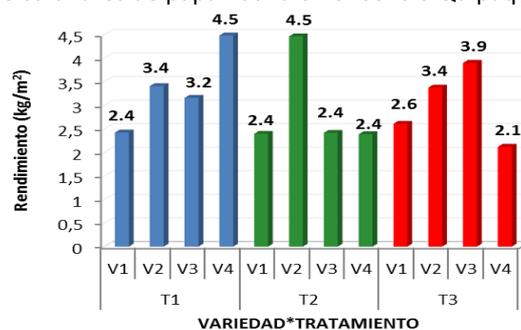


Figura 29. Comparación de medias Duncan para rendimiento (kg/m^2) para la interacción tratamiento por variedad en la evaluación de cultivares de papa nativa en el Centro Quipaquipani – La Paz. 2012-2013

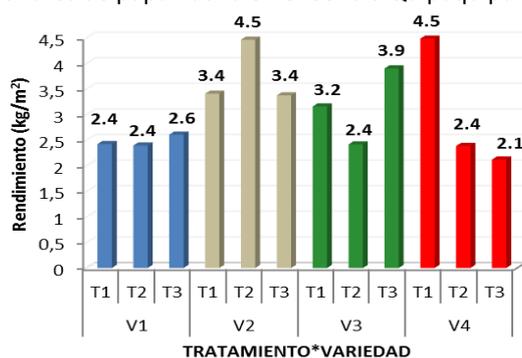


Figura 30. Grado de marchitez (GM) o severidad en nueve variedades de papa bajo tres diferentes tratamientos de sequia en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

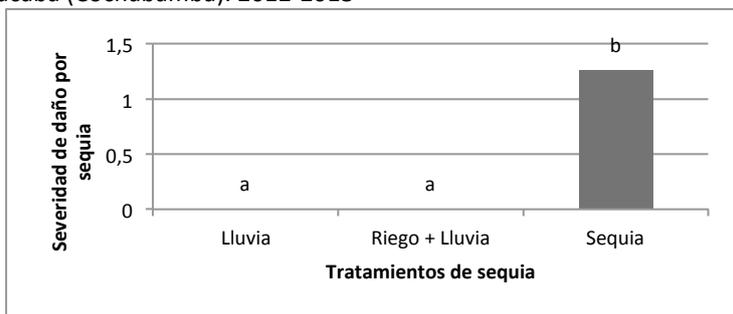


Figura 31. Grado de marchitez (GM) o severidad en nueve variedades de papa bajo tratamiento de sequia (suspensión de riego durante un mes en la etapa de pre tuberización) en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

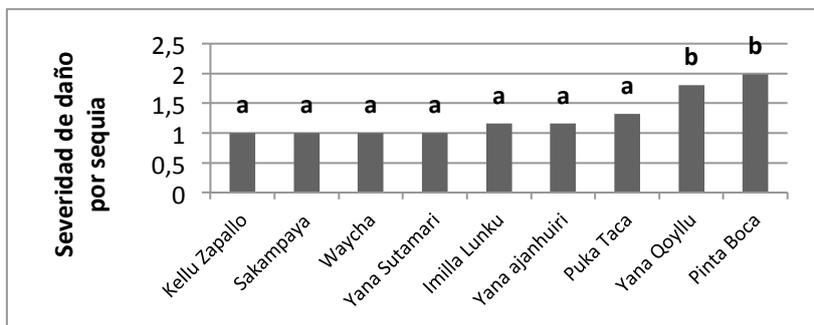


Figura 32. Grado de recuperación (CR) en nueve variedades de papa después de cinco días de finalizado un tratamiento de sequia (suspensión de riego durante un mes en la etapa de pre tuberización) en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

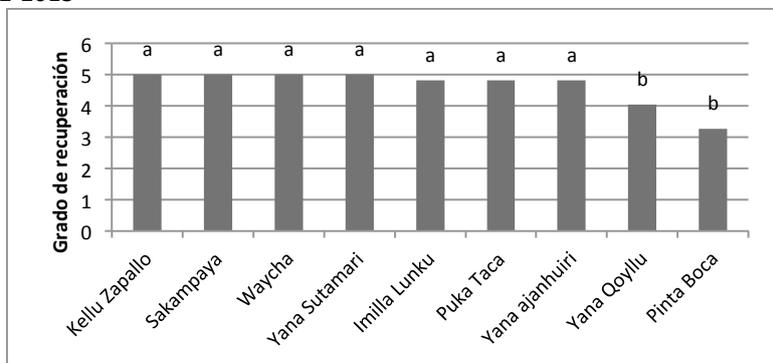


Figura 33. Rendimiento (t/ha) para tres diferentes tratamientos de sequia aplicados en nueve variedades nativas de papa en la etapa de pre tuberización en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013

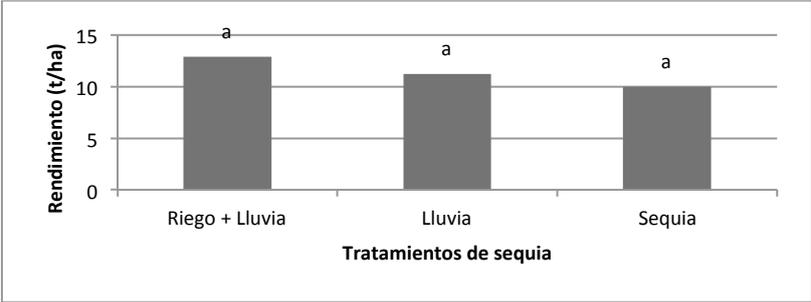


Figura 34. Rendimiento (t/ha) para nueve variedades nativas de papa bajo tres diferentes tratamientos de sequia aplicados en la etapa de pre tuberización en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013. La comparación de medias se hizo entre diferentes tratamientos dentro de la misma variedad.

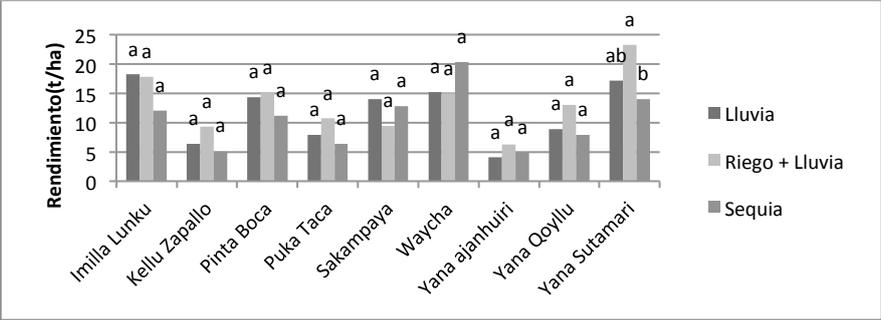
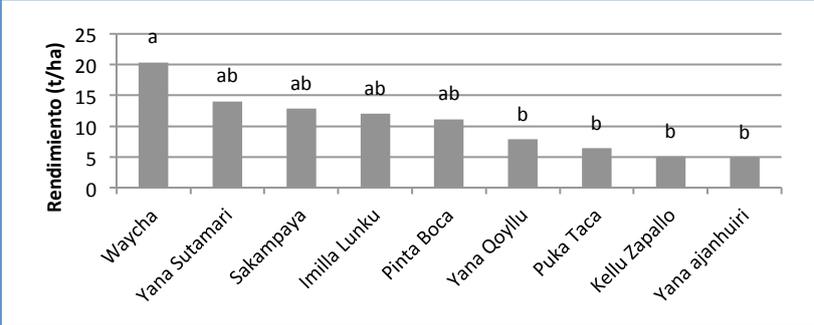


Figura 35. Rendimiento (t/ha) para nueve variedades nativas de papa bajo tratamiento de sequia (suspensión del riego por el periodo de un mes) aplicado en la etapa de pre tuberización en Larati, Sacaba (Cochabamba). 2012-2013



Evaluación de los efectos de cambios de las condiciones ambientales en los componentes bióticos del suelo

Noel Ortuño²⁵

Compendio

Con el propósito de estimar cómo afectan los cambios en las condiciones del clima en los suelos de zonas productoras de papa, se hizo una evaluación para determinar la diversidad microbiana en los suelos de dos zonas climáticamente diferenciadas por el contenido de humedad: 1. en la comunidad de Cariquina Grande de La Paz con alta humedad, y 2. en la comunidad de Chiru K'asa del Norte Potosí muy seca. Todos los suelos analizados presentaron una diversidad biológica similar de morfo especies pero el número de individuos por suelo analizado variaron en suelos en descanso con suelos usados en agricultura tradicional y suelos altamente degradados. Los resultados se presentan en una comparación de la materia orgánica del suelo y la presencia de la microfauna, donde se muestra la variación de la riqueza y la diversidad de coelobolas, ácaros y otros en suelos que tuvieron diversos manejos (rotaciones de cultivos y descansos) en las dos comunidades del Norte Potosí y del Altiplano Norte de La Paz. Sin embargo, se destaca el efecto de la humedad (mayor precipitación) sobre las poblaciones de las mofo especies observada, que es el reflejo de un proceso de descomposición de materia orgánica. En consecuencia, en suelos con materia orgánica sin condiciones de humedad y temperatura los procesos de descomposición serán lentos, eso requerirá hacer un manejo previo de residuo orgánico aplicado al suelo para observar efectos sobre el crecimiento de cultivos.

Introducción

Salud y calidad de suelos

El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo (Romig *et al.*, 1995).

La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter *et al.*, 1997).

El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo:

1. Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible).
2. Atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental).
3. Favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997). Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo.

Indicadores de la calidad del suelo

Los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan, como lo ha sugerido Astier *et al.* (2002). Hünne Meyer *et al.* (1997), establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Indicadores físico-químicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo, son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de

²⁵ Coordinador Area Temática Manejo Integrado de Cultivos PROINPA

almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad. También entre los indicadores respecto a la química del suelo están el pH, materia orgánica, el CE, el CIC, los que hacen ayudan a mostrar el grado de deterioro o riqueza que puede tener un determinado suelo.

Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997).

El análisis del valor de importancia de las especies cobra sentido si recordamos que el objetivo de medir la diversidad biológica es, además de aportar conocimientos a la teoría ecológica, contar con parámetros que nos permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de taxa o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente. Medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales. Además, identificar un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en la dominancia, nos alerta acerca de procesos empobrecedores (Magurran, 1988).

La actividad biológica del suelo se sustenta en dos grandes elementos: las sustancias orgánicas en distintas etapas de descomposición y los microorganismos vivientes que ocupan el sustrato orgánico como fuente de energía y de carbono. En conjunto, representan entre 0,5 a 17% del peso seco del suelo. La biomasa edáfica, constituida por la fauna y la microflora, representa sólo un 5%; el humus o materia orgánica estabilizada alcanza aproximadamente un 85%; y el resto corresponde a raíces vegetales.

La biomasa edáfica interviene en la naturaleza y en particular en los suelos, al mismo tiempo como factores de evolución y de equilibrio, trabajando en forma coordinada en la dinámica de procesos bioquímicos que tienen estrecha relación con la conservación y la productividad del suelo.

La importancia del sustrato orgánico no puede desestimarse, implica una característica distintiva cuando se compara con material geológico de formación reciente; además, constituye la única fuente de reserva de nitrógeno en el suelo (Schleemann, 1979).

La presencia de materia orgánica en el suelo es necesaria para mantener una buena estructura de éste, especialmente en los de textura fina; aumenta la capacidad de intercambio catiónico, con lo cual se reduce la pérdida por filtración de elementos como potasio, calcio y magnesio. Por otra parte, influye sobre diversos procesos bioquímicos y químicos en el suelo, así como sobre las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y mecánicas del suelo.

Influencia de la temperatura y la humedad del suelo sobre la microbiología

La temperatura y la humedad del suelo son los factores ecológicos más importantes en la actividad biológica.

La temperatura del suelo sufre variaciones diarias y estacionales cuya importancia es menos marcada en profundidad que en la superficie del suelo. Estas oscilaciones afectan la actividad biológica, cuya evidencia se manifiesta por métodos respirométricos. En cambio, es probable que no den fluctuaciones importantes en las densidades bacterianas, dentro de rangos comprendidos entre 2 y 22°C. En estos intervalos de temperatura, es el factor humedad el que predomina.

La humedad del suelo interviene en la actividad biológica de varias maneras: directamente, ya que el agua es indispensable para el desarrollo de los organismos vivos e indirectamente, modificando los intercambios gaseosos y transportando vertical o lateralmente diversas sustancias.

En general, la densidad y la actividad microbiana son favorecidas cuando la humedad del suelo aumenta desde PMP hasta el 50 - 70% de la capacidad de campo; luego disminuye con humedades superiores.

Por lo expuesto y con el propósito de estimar cómo afectan los cambios en las condiciones del clima en los suelos de zonas productoras de papa, se hizo una evaluación para determinar la diversidad microbiana en los suelos de dos zonas climáticamente diferenciadas por el contenido de humedad: 1. en la comunidad de Cariquina Grande de La Paz con alta humedad, y 2. en la comunidad de Chiru K'asa del Norte Potosí muy seca.

Materiales y métodos

Se colectaron muestras de suelos de las comunidades de Norte Potosí (Chiru K'asa) y Altiplano Norte La Paz (Cariquina Grande), donde se tomaron muestras considerando cultivos de papa, avena y tiempos en descanso, llegando a disponer un total de 45 muestras.

Muestreo de suelos

Para la toma de muestras se siguieron los siguientes criterios:

- 1.- Aynoqa sembrada con papa.
- 2.- Aynoqa sembrada con avena.
- 3.- Parcela que entra en descanso.
- 4.- Parcela en barbecho que se sembrará esta gestión agrícola.
- 5.- Parcela que está en descanso intermedio (aynoqas con 5 o del 6 año de descanso).

Para la obtención de la muestra, se utilizó el sistema del transecto, para eso se recorre la parcela en forma diagonal. Se eliminó 5 cm del suelo superficial, en cada punto se extrajo 1 Kg de suelo, considerando cinco parcelas en cada sitio.

La muestra de suelos compuesta fue colocada en una bolsa plástica y rotulada con el respectivo código; no se cerró la bolsa hasta que el suelo se secó al aire para evitar cambios bioquímicos que alteren las características de la muestra (Bertsch 1995).

Se procedió a pesar 200 gr de cada muestra de suelo en cada extractor, al azar en cada unidad experimental, cada embudo extractor de colembola consta de un foco de 60 watts, cada embudo se utilizó un vaso plástico de 100 cc con alcohol al 70% en la base para capturar la fauna presente en el suelo.

Cada muestra obtenida y etiquetada en un periodo de 48 horas. Se consideró tres repeticiones por cada muestra de suelo.

Se aislaron colémbolas, tisanura, nematodos saprófagos, ácaros y larvas de microscópicas de otros microorganismos no identificados (Figura 1).

Estas morfoespecies participan en el proceso de descomposición después que las bacterias, hongos y actinomicetos destruyeron los tejidos lignificados o rígidos de los residuos orgánicos en el suelo. Eso se presentará si hay procesos de descomposición y que este ya pasó por la fase termófila, momento en el que actúa la microfauna iniciando su actividad para completar la humificación, que es la forma más estable de la materia orgánica en el suelo. Para que se lleve a cabo ese proceso será vital la humedad y temperatura para que los microorganismos puedan cumplir su función.

Indicadores de calidad de suelos seleccionados y épocas de muestreo

El análisis de suelos de las zonas se hizo con base en la medición de indicadores físicos y microbiológicos (variables de respuesta). Los indicadores microbiológicos se evaluaron considerando la microfauna donde se diferenció las morfo especies (Figura 1) encontradas en cada muestra de suelo, agrupadas de acuerdo al uso agrícola, mientras que los indicadores químicos y físicos se evaluaron tomando parte de las mismas muestras de suelo obtenidas para los respectivos análisis por ser relativamente estables (García y Hernández 2003).

Los parámetros evaluados se muestran en la Tabla 1.

Métodos estadísticos

Diseños y modelos

Para los indicadores biológicos se utilizó el índice de Shannon – Weaver para el conjunto de parámetros de diversidad.

Identificación y cuantificación

Cada embase fue sometida a una identificación y conteo de la mayor variedad de organismos posibles en general dividiéndolos en morfo especies para una agrupación más homogénea de la composición existente.

La diversidad de morfo especies y cantidad de individuos fueron procesados con el índice de diversidad de Shannon –Weaver.

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

Donde:

P_i = abundancia proporcional de la i-ésima especie

$P_i = N_i/N$ (Abundancia de la i-ésima especie entre abundancia total de todas las especies)

Análisis de datos

Los resultados se determinaron en base: a) los índices de diversidad Shannon-Weaver b) La riqueza de especies y la abundancia de cada morfo especie en cada tipo de suelo. Estos análisis fueron realizados con el software PAST 1.8 y comparados con el software STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Los índices de diversidad fueron comparados mediante un ANOVA de dos vías.

Resultados y Discusión

Características de suelo y ambiente

Para la caracterización de estos parámetros se presentan las tablas 2, 3 y 4, donde se describen las características de los suelos e información climática para cada una de las zonas de trabajo.

Comunidad.- San Pedro de Buena Vista-Norte Potosí

Con los resultados obtenidos se registraron 11 morfo especies en esta comunidad, los cuales fueron agrupados en grupos morfológicos ACAROS, COLEMBOLOS, GUSANOS y LARVAS, dentro de estos grupos se registraron las morfoespecies presentes en cada muestra de suelo analizado a tomar en cuenta (Tabla 5). Con los análisis establecidos se observaron que los suelos con mayor diversidad con el total morfo especies encontradas son los suelos de barbecho a 1 año de descanso seguidas con suelos de barbecho con 5 años de descanso y seguido de suelos en descanso de 7 años, software PAST 1.8 (Tabla 5). Con una prueba de t se estableció que las diferencias entre los tres suelos con mayor diversidad no tienen una diferencia significativa ni con los suelos de avena y papa que son los que expresan menos diversidad.

Se pudo constatar en un análisis general de los 5 suelos que estos mostraron valores mayores en los grupos de ácaros ($a_1=1.515$, $a_x=1.312$) seguido por morfo especies del grupo de gusano ($g_1=1.39$), luego larvas ($g_3=1.213$, $g_4=1.063$) y colémbolos ($collomy=1.023$) entre los más importantes.

Los valores de índices de Diversidad Shannon – Weaver, la proporción de la abundancia total por grupos así como la riqueza de especies, mostraron valores comparativos similares en los 5 suelos analizados, entre morfo especies*suelo ($p=0.00691$), software STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA) (Figura 2).

Comunidad.- Ventilla (Rafael Bustillos) – Norte Potosí

Con los resultados obtenidos se registraron 10 morfo especies los cuales fueron agrupados en grupos morfológicos ACAROS, COLEOPTEROS, COLEMBOLOS, LARVAS, NEMATODOS Y HORMIGAS, dentro de estos se registraron las morfo especies presentes en cada muestra de suelo analizados.

Con los análisis establecidos se observó en los suelos que tenían mayor diversidad, con el total morfo especies, fueron los suelos en descanso, seguido por el suelo con cultivo de papa y cebada, respectivamente, software PAST 1.8 (Tabla 6).

Con una prueba de t se estableció que las diferencias entre los dos tipos de suelos de mayor diversidad no tienen una diferencia significativa entre estos, ni con los demás suelos de menor diversidad, se observa que la cantidad de individuos es significativamente baja en el total de suelos evaluados en la comunidad.

Se pudo constatar en un análisis general en los suelos muestreados que por la baja población de individuos encontrados presentan una riqueza muy baja, los cuales mostraron valores en algunos de las morfo especies por debajo de los parámetros establecidos como normales el grupo de coleópteras ($athe=1.321$) son mas dominantes en el total de suelos seguido por el grupo de nematodos ($glob=0.995$) y de ácaros ($a_1=0.9503$, $a_2=0.562$), y colémbolos ($collomy=0.656$).

Los valores de índices de Diversidad Shannon – Weaver, la proporción de la abundancia total por grupos así como la riqueza de especies, reflejan valores bajos en los 4 suelos analizados en la zona, la comparaciones de

índices de diversidad, el análisis ANOVA para la abundancia poblacional no muestran las diferencias significativas entre suelos observados (Figura 3).

Comunidad.-Cariquina Grande-La Paz

Con los resultados obtenidos se registraron se registraron 19 morfo especies los cuales fueron agrupados en ACAROS, COLEOPTEROS, COLEMBOLOS, LARVAS, GUSANOS y NEMATODOS en estos grupos se registraron las morfo especies presentes en cada suelo muestreado (Figura 1).

Con los análisis establecidos se observaron que los suelos con mayor diversidad con el total morfo especies encontrados son los suelos de barbecho 6 años seguidas de los suelos de papa 1er. Año 7 años de barbecho (Tabla 7).

Con una prueba de t se estableció que no hay diferencias significativas entre los tres suelos con mayor diversidad, pero si con suelos de avena y barbecho de 11 años, siendo los menos diversos.

Las morfo especies que mostraron valores mayores en el total de suelos analizados en la comunidad de Cariquina Grande se presentaron en primer lugar con el grupo de gusanos ($gl=1.558$, $lo=1.454$), seguido por colémbolos ($collomy=1.183$, $collent=0.6931$), larvas ($g3=1.137$, $glarva1=0.6365$) y los ácaros ($a=1.103$, $ax1=1.004$), entre los más importantes.

Los valores de índices de Diversidad Shannon – Weaver, la proporción de la abundancia total por grupos así como la riqueza de especies, mostraron valores comparativos en los 5 suelos analizados, para la comparaciones de índices de diversidad entre tipos de suelos, el análisis ANOVA para la abundancia poblacional muestran las diferencias significativas entre suelos morfo $sp*suelo$ $F_{(12,40)} = 1.0551, p=0.42129$ con un 95% de probabilidad, software STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA) (figura 4).

Comparación de resultados

Haciendo una comparación de resultados de las tres comunidades, tenemos que los suelos de las comunidades del Norte Potosí no mostraron mucha diferencia respecto al pH. Cuando los suelos se encuentran en diferentes condiciones de manejo en la *Comunidad de San Pedro de Buena Vista*, tampoco se encontraron cambios significativos en el contenido de MO. En cambio en los suelos de la *Comunidad de Ventilla – Norte Potosí*, sí se encontraron diferencias en el contenido de MO, presentando bajas concentraciones en suelos usados en cultivos que los suelos en descanso. El análisis del pH en los suelos analizados en la *Comunidad de Cariquina Grande (La Paz)* presentó diferencias significativas. Se encontró un mayor contenido de MO en comparación a los suelos del Norte Potosí. En suelos en descanso se halló concentraciones mucho más altas respecto a suelos con cultivo.

Comparando el pH de Cariquina (4.4 a 5.5) y materia orgánica (5.5 a 17.89%) respecto al Norte Potosí-Ventilla, el pH (4.3 a 5.6) y la materia orgánica (4.93 a 9.85%) demuestra que los rangos de pH no son diferentes significativamente pero sí la materia orgánica, lo que refleja en una mayor abundancia y diversidad de microfauna en el suelo, lo cual reflejará con mayor descomposición y mayor actividad microbiana.

Los índices de diversidad demostraron que en Cariquina-La Paz (1.8) hay mayor diversidad de microfauna en el suelo que en Ventilla y San Pedro-Nore Potosí (1.43 y 1,38) y esto correlacionado con la mayor materia orgánica, mas humedad y temperatura.

Por tanto se observó que la riqueza en microfauna es mayor en suelos con buena cantidad de materia orgánica, Entonces el contenido de materia orgánica en el suelo tiene influencia sobre la mayor abundancia de microfauna y no así el pH, bajo las condiciones de estudio.

Sin embargo, otro factor de variación entre las zonas son la precipitación y la temperatura entonces zonas con mayor precipitación y temperatura en el ambiente, se favorece a una mayor descomposición de descomposición y esto se refleja en una mayor presencia de microorganismos, los que aceleran el proceso.

La riqueza de especies de diferentes taxones de la microfauna, en un agroecosistema, parece no estar directamente correlacionado con el descanso o mayor contenido de materia orgánica en el suelo o variaciones del pH, sino más bien con una mayor temperatura y humedad del suelo, porque la microfauna es una consecuencia de la descomposición de la materia orgánica. Con humedad y temperatura adecuada favorecerá el inicio de la descomposición en el suelo. Si hay baja temperatura y humedad estos procesos de pueden detener o ser muy lentos lo cual es expresado en la diversidad de la microfauna evaluada.

Conclusiones

Un mayor contenido de materia orgánica del suelo bajo condiciones adecuadas para su descomposición (temperatura y humedad), favorecerá a una mayor presencia de microfauna en el suelo, como se observó en la zona de Cariquina- La Paz (mayor materia orgánica y mayor humedad), en consecuencia ese proceso proporcionará mayor estabilidad en la física, química y biología del suelo, y por lo tanto mejores condiciones a las plantas para resistir adversidades climáticas extremas.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Indicadores químicos y biológicos utilizados para determinar la calidad de suelos de las tres comunidades.

Indicadores	Metodología	Fuente
Químicos		
pH	En suelo	
materia orgánica (MO)	% Materia Orgánica	Bertsch (1995)
Biológicos		
Índices de Shannon - Weaver parámetros de diversidad	$H = - \sum p_i \ln p_i$	Somarriba (1999)

Tabla 2. Características de las parcelas y sus parámetros observados en la localidad Norte Potosí, comunidad de San Pedro de Buena Vista (Chirukasa), Ayllu Qayana, Provincia Charcas.

Características de las parcelas	(pH)	M.O.	Altitud (msnm)	Precipitación (mm/año)	Temperatura Min-Max °C
Barbecho 7 años	4.8	8.76			
	4.7	7.66			
	4.6	8.58			
Media	4.7	8.33	3800-4200	450	4.5 – 21
Descanso 5 Años	4.6	7.30			
	4.7	6.21			
	4.7	5.47			
Media	4.6	6.32	3800-4200	450	4.5 – 21
Descanso 1er año	4.8	8.22			
	4.9	7.67			
	4.5	6.39			
Media	4.7	7.43	3800-4200	450	4.5 – 21
Avena 1er año	5.1	6.20			
	5.6	12.05			
	5.3	9.85			
Media	5.3	9.33	3800-4200	450	4.5 – 21
papa 1er año 7 años barbecho	4.3	4.93			
	5.3	7.85			
	5.3	5.93			
Media	4.96	6.24	3800-4200	450	4.5 – 21

Tabla 3. Características de las parcelas y sus parámetros observados en la localidad Norte Potosí, Comunidad Ventillas, Ayllu Chullpas, Municipio Llagua, Provincia Rafael Bustillos.

Características de las parcelas	(pH)	M.O.	Altitud	Precipitación (mm/año)	Temperatura Min-Max °C
Manta Ruma Ayllu Chullpa		4.8	2.04		
	PAPA	5.0	1.53		
		5.0	1.82		
Media	4.93	1.79	3800-4300	390	-1.9 a 20
Manta Piedras Blancas Ayllu Chullpa		5.8	2.99		
	Barbecho	5.9	2.70		
		5.7	3.10		
Media	5.8	2.93	3800-4300	390	-1.9 a 20
Chullpa		5.9	6.39		
	Descanso 5	5.5	5.84		
		5.8	5.84		
Media	5.73	6.02	3800-4300	390	-1.9 a 20
Ventilla Chullpa		5.7	2.48		
	Cebada	5.8	2.12		
		5.9	2.04		
	Media	5.8	2.21	3800-4300	390

Tabla 4. Características de las parcelas y sus parámetros observados en el Altiplano Norte de La Paz, en la comunidad Cariquina Grande, Provincia Camacho.

Características de las parcelas	(pH)	M.O.	Altitud (msnm)	Precipitación (mm/año)	Temperatura Min-Max °C
PAPA	5.5	9.49			
	4.7	10.22			
	5.0	6.93			
Media	5.07	8.88	4100	731	3 a 15
AVENA	5.0	9.85			
	4.7	10.95			
	5.3	13.51			
Media	5.0	11.44	4100	731	3 a 15
AVENA 1er Año descanso	5.2	8.39			
	5.1	8.39			
	5.1	7.66			
Media	5.13	8.15	4100	731	3 a 15
6 Años descanso	4.8	14.60			
	5.2	17.89			
	5.0	17.53			
Media	5.0	16.7	4100	731	3 a 15
Barbecho 11 años descanso	4.4	9.85			
	5.0	5.10			
	4.9	8.76			
Media	4.77	7.9	4100	731	3 a 15

Fuente: Análisis pH y M.O. efectuado en laboratorio de suelos de la FCAP-UMSS.

Tabla 5. Morfo especies presentes e índices de diversidad comparativos Shannon – Weaver y Simpson. San Pedro de Buena Vista - Norte Potosí

	Barbecho 7 años	5 Años de descanso	1 año descanso	Avena 1er. año	Papa 1er. Año
Taxa_S	8	6	7	6	9
Individuals	413	290	77	184	286
Shannon_H	1,377	1,442	1,583	1,253	1,208
Simpson_1-D	0,7129	0,6966	0,7536	0,6008	0,5636

Tabla 6. Número de morfo especies e índices de diversidad comparativos Shannon – Weaver y Simpson, (Ventilla), Provincia Rafael Bustillos-Norte Potosí.

	Papa	Barbecho	En descanso	Cebada
Taxa_S	7	3	6	5
Individuals	22	3	13	11
Shannon_H	1,514	1,099	1,738	1,367
Simpson_1-D	0,6942	0,6667	0,8166	0,6942

Tabla 7. Morfo especies e índices de diversidad comparativos Shannon – Weaver y Simpson, Comunidad Cariquina Grande – La Paz.

	Descanso 6 años	1 er. año descanso avena	Barbecho 11 años descanso	avena	papa
Taxa_S	13	9	9	12	10
Individuals	54	68	53	210	61
Shannon_H	2,35	1,462	1,916	1,323	2,051
Simpson_1-D	0,8909	0,6458	0,8309	0,5849	0,8589

Figura 1. Morfoespecies colectadas de los diferentes suelos



Figura 2. Abundancia estacional que muestran el promedio grupal en cada tipo de suelo, en la comunidad de San Pedro de Buena Vista-Norte Potosí

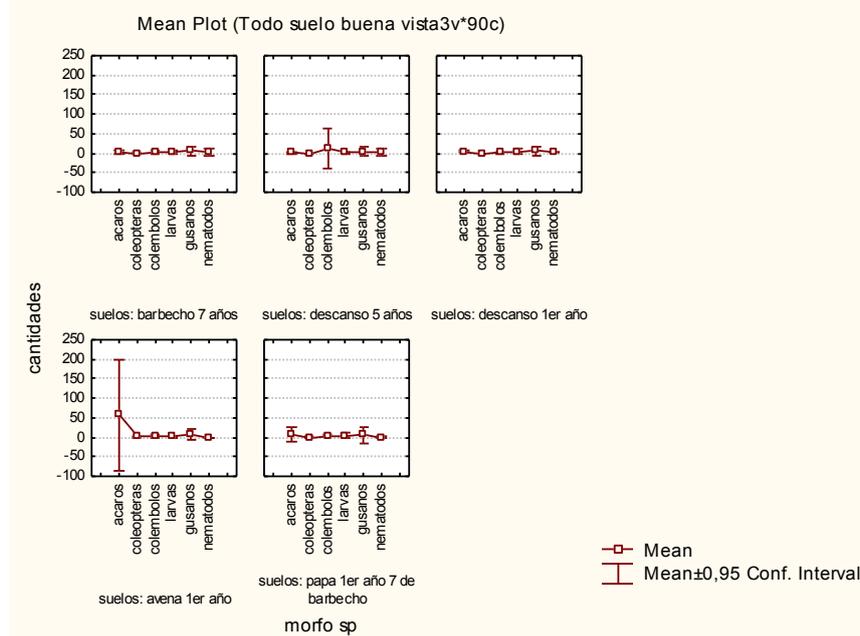
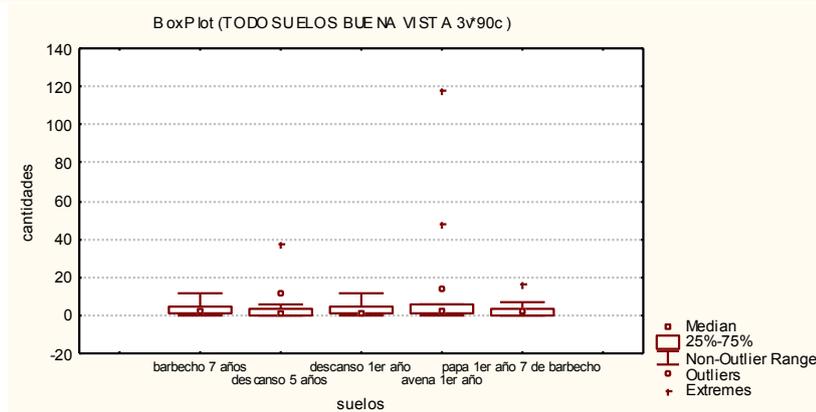
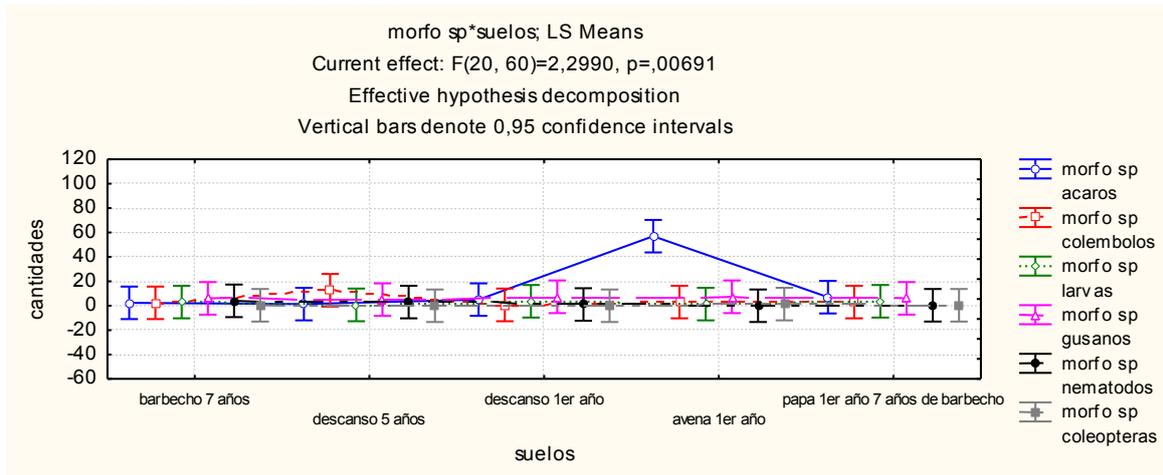


Figura 3. Abundancia estacional que muestran el promedio grupal en cada tipo de suelo observado en la zona de Ventilla (Rafael Bustillos).

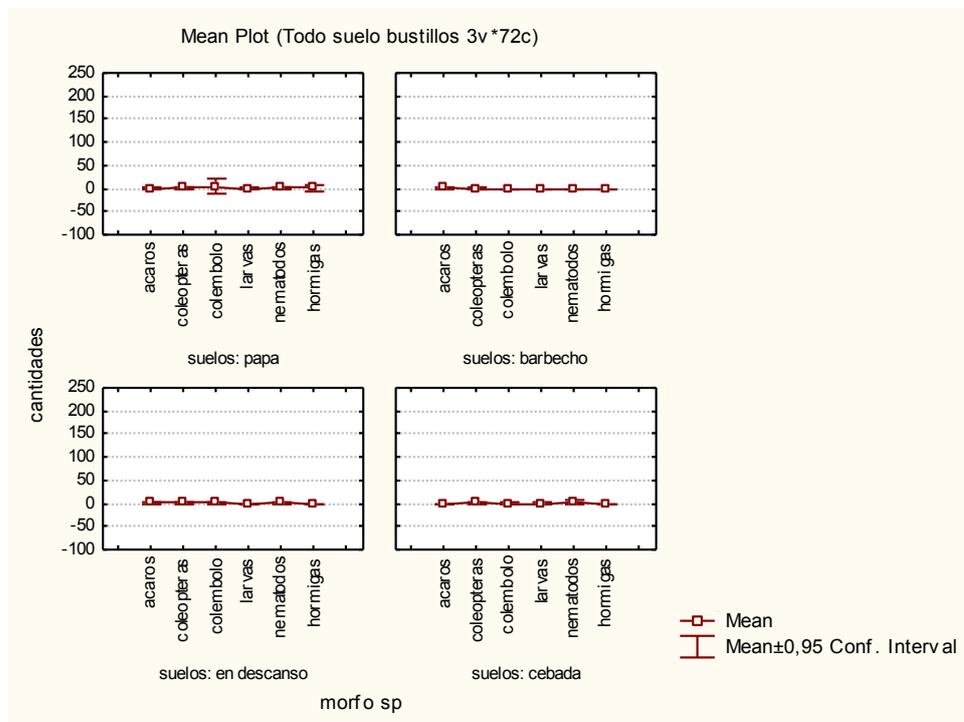
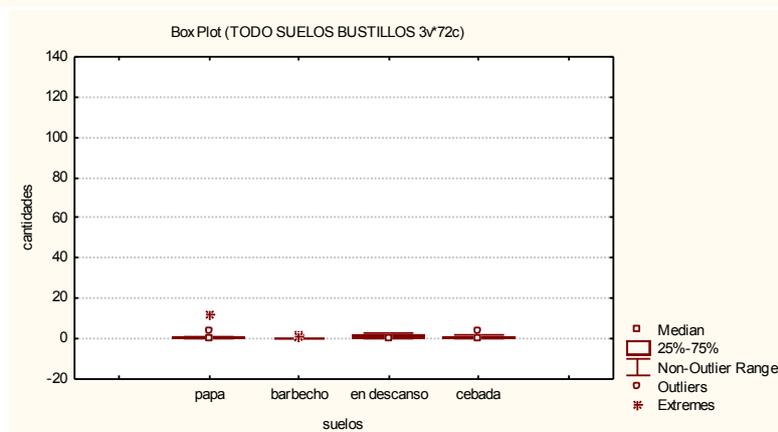
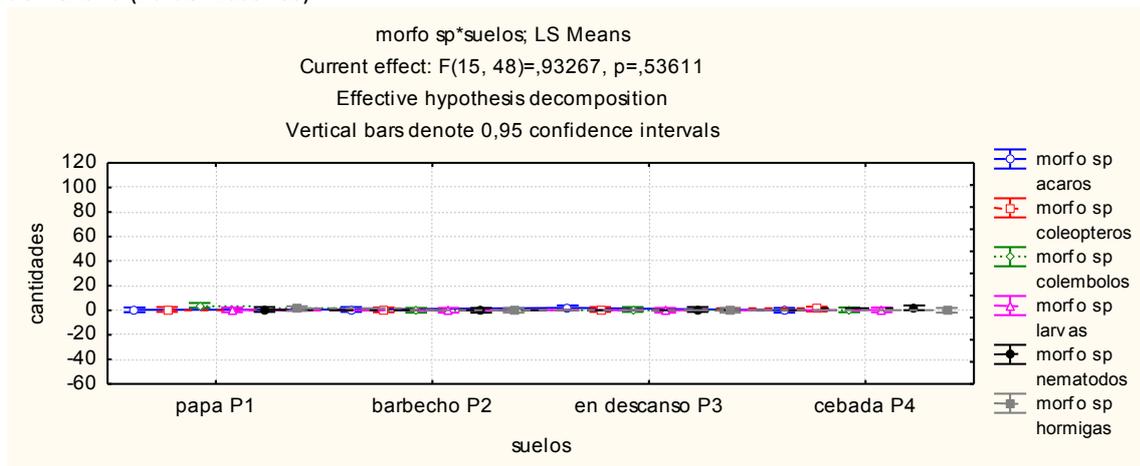
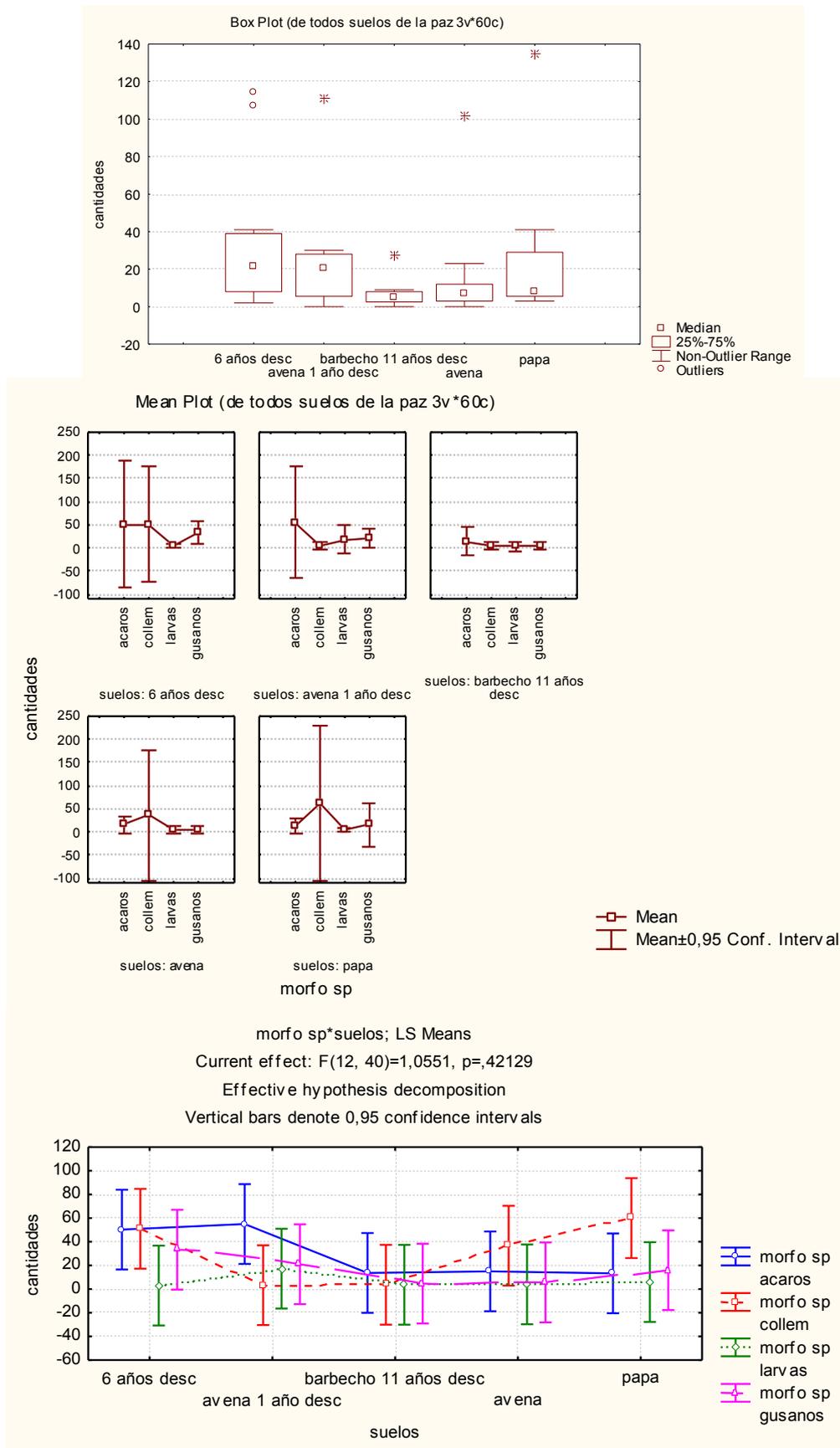


Figura 4. Abundancia estacional que muestran el promedio grupal en cada tipo de suelo observado en la comunidad de Cariquina Grande-La Paz.



Identificación de alternativas tecnológicas como los bioinsumos para reducir los efectos de la sequía en campo

Julio Gabriel²⁶, Ada Angulo²⁶, Jury Magne²⁶, Rhimer Gonzáles²⁷, Jhonny Canqui²⁸

Compendio

Con el objetivo de evaluar la reacción al estrés hídrico por sequía y a la aplicación de bioinsumos, se han sembrado dos cultivares nativos de papa (Waycha y Pinta Boca) en la zona de Larati Grande. La parcela se implementó en un diseño de bloques completos con arreglo en parcelas divididas en franjas con cuatro repeticiones y 48 unidades experimentales. Los factores y sus respectivos niveles implementados fueron: Factor A: 1=Riego y 2=Sequia. Factor B: 1 = sin sequía y 2 = con sequía y Factor C: 1 = Gallinaza a razón de 10 t/ha, 2 = Gallinaza a razón de 10 t/ha + micorriza (Micobac con *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum*) a una dosis de 50 kg/ha y 3 = Testigo absoluto (sin bioinsumos). Para el estudio se consideraron las variables Grado de marchitez (GM), Capacidad de recuperación (CR), Altura de planta (AP), Número de tallos (NT), Número de hojas (NH), Contenido de Clorofila (CC), cobertura foliar (CF), Contenido relativo de agua en las hojas (CRA), Volumen de tubérculos (VT), Número de tubérculos por diámetro: N1= Primera (> 5.5 cm), N2= Segunda (4.5-5.5 cm), N3=Tercera (3-4.5 cm) y N4= (2-3 cm) y rendimiento por tamaños (PI, PII,PIII Y PIV) y en total (YT). Los resultados mostraron que los bioinsumos no tuvieron efecto ni en el GM ni en la CR en ninguno de los dos cultivares. Sin embargo redujeron las pérdidas de rendimiento por sequia en ambos cultivares. Destaca el bioinsumo Gallinaza + Micorriza con los rendimientos más altos tanto bajo riego como bajo sequía. En general, no hubo correlaciones importantes entre la severidad y la recuperación con las demás variables para ambos bioinsumos. Sin embargo para el testigo absoluto se observó que las plantas que obtuvieron mayor severidad redujeron en mayor grado su altura y las plantas que mejor recuperaron fueron las que tenían más hojas.

Introducción

En la actualidad el cultivo papa se constituye en uno de los más importantes productos de la economía y alimentación boliviana.

Se reconoce que en los andes de Bolivia, los agricultores aún conservan muchos cultivares nativos de las ocho especies conocidas, las mismas que son usadas para su alimentación y seguridad alimentaria. Entre estos cultivares nativos destaca la variedad diploide Pinta Boca (*Solanum stenotomum*). Sin embargo, poco se conoce acerca de los atributos de resistencia a los factores bióticos y abióticos que afectan a la papa y menos aun se han utilizado en los programas de mejora genética de papa en el mundo (Estrada, 2000).

Uno de los factores abióticos que más afecta en Bolivia es el estrés hídrico por sequía. Este factor es una limitante sobre la producción de papa en las áreas tradicionales de cultivo, influyendo en el desarrollo del mismo y causando pérdidas de rendimiento y calidad de tubérculos (Ekanayake, 1993).

Mamani (2000) encontró que el efecto de una sequía temprana (sequía pre-tuberización) ocasionaba tubérculos más pequeños tanto en variedades sensibles como en tolerantes en referencia a una sequía tardía (sequía aplicada un mes después de la tuberización).

Ceccarelli (1984) menciona que para enfrentar el problema de sequia, existen dos alternativas: optimizar el uso de agua y/o generar variedades genéticamente resistentes y/o tolerantes a sequia. La opción concerniente al manejo del agua se aplica específicamente para cultivos bajo riego. En cambio, para los suelos a secano, se contaría únicamente con la opción genética que permitiría lograr rendimientos estables en condiciones de ambientes contrastantes. Para la obtención de variedades resistentes y/o tolerantes a sequía se requiere del uso de germoplasma con estas características.

Por otra parte, el uso de bioinsumos parece ser una alternativa interesante para contrarrestar el efecto causado por el estrés hídrico por sequía y/o heladas, porque ayudaría a una recuperación acelerada de las plantas y permitiría la producción de mejores y más sanas cosechas. En este sentido instituciones en Bolivia

²⁶ Responsable e investigadores del Programa de Mejoramiento Genético de papa PROINPA

²⁷ Investigador Recursos Genéticos PROINPA

²⁸ Estudiante (tesista) de la Universidad Pública de El Alto- La Paz

como PROINPA, BIOTOP, PLAGBOL, PROBIOMA, etc. Están trabajando en el desarrollo de bioinsumos que permitan mejorar la estructura del suelo y repoblar los suelos con microorganismos benéficos que en simbiosis con las plantas, logren mejores y más sanas cosechas; que además ayudaría a la conservación del suelo y disminuiría el efecto en el medio ambiente porque se reduciría el uso de fertilizantes sintéticos.

Así por ejemplo, Ortuño *et al.* (2010) mencionan que las micorrizas facilitan la absorción de agua del suelo y del fósforo. Por otra parte, la gallinaza permite la circulación y aumenta la capacidad de retención del agua en el suelo. También permite un mejor enraizamiento y disminuye la erosión del suelo.

En un ensayo anterior se evaluó el uso de tres bioinsumos en 14 cultivares nativos bajo estrés hídrico y se observó que los bioinsumos Gallinaza y Humus + micorriza obtuvieron mejor performance que el bioinsumo Humus tanto en la reducción de la severidad de daño por sequía como en el incremento del rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico. En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de la gallinaza y la combinación gallinaza más micorriza junto a un testigo absoluto (sin bioinsumos) en dos variedades de papa: Waycha (representativa de las tetraploides) y Pinta Boca (representativa de las diploides) sometidas a estrés hídrico en pre-tuberización. Se determinaron las variables de respuesta asociadas con la resistencia a sequía bajo el uso de los bioinsumos, así como la capacidad de recuperación y rendimiento bajo sequía.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó cabo en la comunidad del Larati grande ubicada geográficamente a 16° 31' 00" de latitud sur y 68° 18' 00" de longitud oeste y a una altura aproximada de 3 400 msnm.

Se utilizó dos cultivares nativos de papa (Tabla 1). El cultivar Waych'a como representativo de las tetraploides y el cultivar Pinta Boca como representativo de las diploides.

La siembra se realizó en surcos abiertos a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,70 m entre surcos. La superficie total de la parcela fue de 348 m².

La parcela se implementó en un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas en franjas, con cuatro repeticiones. Se tuvo un total de 48 unidades experimentales. Los factores y sus respectivos niveles implementados fueron: Factor A: 1=Riego y 2=Sequía, Factor B: 1 = Waych'a y 2 = Pinta Boca y Factor C: 1 = Gallinaza a razón de 10 t/ha, 2 = Gallinaza a razón de 10 t/ha + micorriza (*Micobac* con *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum*) a una dosis de 50 kg/ha y 3 = Testigo absoluto (sin bioinsumos) (Ortuño *et al.*, S/F).

En el desarrollo del cultivo se realizaron dos aporques, el primero en la emergencia, cuando las plántulas tuvieron una altura de 10 cm, el último aporque se realizó en la fase de llenado de tubérculo. Se hizo el deshierbe según el requerimiento del cultivo, y el manejo fue el mismo para toda las parcelas principales.

El tratamiento de sequía se cubrió con túneles de estructuras de fierro y plástico a partir de los 60 días después de la siembra que coincide con el estadio de pre-tuberización (etapa más crítica donde la sequía puede causar grandes pérdidas), durante 30 días. Estas cubiertas plásticas fueron destapadas cuando no hubo precipitaciones. Se hicieron canales de agua que fueron revestidos con plástico para evitar la infiltración del agua de lluvia en las unidades experimentales.

Para el estudio se consideraron variables de respuesta y componentes de rendimiento. Las variables fueron: Severidad o grado de marchitez (GM) que se evaluó según la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo (2009) una vez finalizado el periodo de sequía, Capacidad de recuperación (CR) que se evaluó de acuerdo a la escala de Blum (1993) modificada para recuperación (Gabriel *et al.*, 2011) después de una semana de aplicado el riego de recuperación al final del periodo de sequía, Altura de planta (AP) en cm. después del periodo de sequía, Número de tallos (NT) después del periodo de sequía, Número de hojas (NH) después del periodo de sequía, Contenido de Clorofila (CC) que se midió con el SPAD-520 en hojas de la parte media de la planta una vez que las plantas terminaron el tratamiento de sequía (Gonzales, 2009), cobertura foliar (CF) que se evaluó mediante imágenes fotográficas después de finalizado el tratamiento de sequía. Estas imágenes se importaron al programa Cob Cal v.1 que determina el porcentaje foliar basado en colorimetría; programa creado por el Instituto Nacional de Tecnología Agraria (INTA), Uruguay y Contenido relativo de agua en las hojas (CRA) que se midió mediante la toma del peso fresco, túrgido y seco de folíolos. El CRA se calculó mediante la siguiente fórmula: $RCA = (\text{Peso fresco} - \text{peso seco}) / (\text{Peso túrgido} - \text{peso seco})$.

Los principales componentes de rendimiento evaluados fueron: Volumen de tubérculos (VT) que se evaluó mediante el principio de Arquímedes utilizando una probeta de 500 ml, Número de tubérculos (NT) que se evaluó en el momento de la cosecha y por tamaños de acuerdo al diámetro: N1= Primera (> 5.5 cm), N2=

Segunda (4.5-5.5 cm), N3=Tercera (3-4.5 cm) y N4= (2-3 cm) (Oficina Regional de Semilla, 2003) y rendimiento que también se evaluó por tamaños (PI, PII,PIII Y PIV) y en total (YT).

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes y/o con mayor rendimiento. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando los Proc GLM y Mixed del SAS (SAS, 2008). También se realizó un análisis de correlación entre las variables severidad, recuperación y rendimiento con las demás variables. La correlación se realizó para cada bioinsumo dentro del tratamiento de sequia para poder determinar cómo se correlacionan las diferentes variables dentro de cada bioinsumo y bajo sequia. Para este propósito se utilizó el proc corr del SAS (SAS, 2008).

Resultados y discusión

El análisis de varianza (Tabla 2) para severidad mostró diferencias significativas ($Pr < 0.01$) para tratamiento de sequia, lo cual significa que la sequia impuesta causó severidad y por tanto el tratamiento de sequia sí funcionó.

Asimismo, se observaron diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) entre variedades para severidad. Esto significa que uno de los cultivares obtuvo menor grado de severidad. Una vez realizadas las comparaciones de medias se observó que Waych'a fue más resistente que Pinta Boca (Fig 1).

Por otra parte, no existieron diferencias significativas ($Pr = 0.105$) entre bioinsumos para severidad (Tabla 2). Lo que significa que la severidad obtenida con los dos tratamientos de bioinsumos (gallinaza y gallinaza mas micorrizas) fue la misma a la obtenida con el testigo absoluto (sin bioinsumo) (Figura 2). Esto significa que la gallinaza y la combinación gallinaza + micorriza no tuvieron ningún efecto favorable en la severidad de daño por sequia comparados con el testigo absoluto.

El análisis de varianza (Tabla 2) para capacidad de recuperación (CR) mostró diferencias significativas ($Pr < 0.01$) para tratamiento de sequia, lo cual significa que la CR después de la sequia impuesta no fue total.

Asimismo, se observaron diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) entre variedades para CR. Esto significa que uno de los cultivares obtuvo una CR menor al otro cultivar. Una vez realizadas las comparaciones de medias se observó que Waych'a recuperó en menor grado que Pinta Boca (Fig 3).

Por otra parte, no existieron diferencias significativas ($Pr = 0.1$) entre bioinsumos para CR (Tabla 2). Tampoco existió interacción bioinsumo*variedad ($Pr = 0.22$). Sin embargo, al realizar las comparaciones de medias se observa que las CR obtenidas con los bioinsumos y las obtenidas con el testigo absoluto son iguales solamente para la variedad Pinta Boca. En cambio, para la variedad Waycha la CR fue mayor para el testigo. Esto significa que la gallinaza y la combinación gallinaza + micorriza no tuvieron ningún efecto favorable en la CR comparados con el testigo absoluto en ninguna de las dos variedades.

El análisis de varianza para rendimiento total (Tabla 2) indicó que existieron diferencias significativas para tratamiento de sequia ($Pr < 0.05$). Lo que significa que el tratamiento de sequia tuvo efecto sobre el rendimiento. En la figura 3 se observa que el tratamiento de sequia en general redujo el rendimiento en 35.22%. La tabla 2 también indica que existieron diferencias significativas para bioinsumo ($Pr < 0.01$). Al mismo tiempo existió interacción bioinsumo*variedad ($Pr < 0.01$) lo cual indica que las diferencias entre los rendimientos obtenidos con los diferentes tratamientos de bioinsumo no fueron las mismas para las dos variedades.

Para la variedad Waycha se observa que el rendimiento más alto se obtuvo bajo riego y con el bioinsumo gallinaza + micorriza (Figura 5). Este rendimiento fue estadísticamente igual a los obtenidos con gallinaza bajo riego y gallinaza + micorriza bajo sequia. Sin embargo, fue superior al obtenido con gallinaza bajo sequia y a los testigos tanto bajo riego como bajo sequia. El rendimiento con gallinaza bajo sequia también fue superior a los testigos bajo riego y bajo sequia.

Por otra parte, para la variedad Pinta Boca (Figura 6) se observa que el rendimiento más alto se obtuvo también bajo riego y con el tratamiento gallinaza + micorriza. Este rendimiento fue estadísticamente igual a los obtenidos con gallinaza bajo riego y gallinaza + micorriza bajo sequia. Sin embargo, fue superior al obtenido

con gallinaza bajo sequia y a los testigos tanto bajo riego como bajo sequia. El rendimiento con gallinaza bajo sequia; por otra parte, fue igual a los testigos bajo riego y bajo sequia.

El análisis de correlación de Pearson se realizó entre todas las variables de respuesta para cada bioinsumo bajo sequia (Tablas 3, 4 y 5). El análisis de correlación para el testigo (sin bioinsumos) (Tabla 3) mostró que la severidad se relaciona alta y negativamente con la altura de planta y con el número de tubérculos de la cuarta categoría. Esto significa que a mayor severidad las plantas redujeron su crecimiento y al mismo tiempo el número de tubérculos de la cuarta categoría. La recuperación por otra parte se correlaciona alta y positivamente con el número de hojas. Esto significa que las plantas con mayor número de hojas recuperaron mejor. Finalmente el rendimiento total se correlaciona alta y positivamente con el número y peso de las categorías 2 y 3. Lo cual significa que a mayor número y peso de tubérculos en las categorías 2 y 3 hubo mayor rendimiento bajo sequia con el testigo.

El análisis de correlación para el bioinsumo Gallinaza bajo sequia (Tabla 4) mostró que la severidad no se relaciona significativamente con ninguna variable. La recuperación por otra parte tampoco se correlaciona con ninguna variable. El rendimiento total se correlacionó alta y positivamente con el número y peso de las categorías 2, 3 y 4. Lo cual significa que a mayor número y peso de tubérculos en las categorías 2, 3 y 4 hubo mayor rendimiento bajo sequia con la gallinaza.

El análisis de correlación para el bioinsumo Gallinaza + Micorriza bajo sequia (Tabla 5) mostró que la severidad no se relaciona significativamente con ninguna variable. La recuperación por otra parte se correlaciona alta y positivamente con el número de tubérculos de la segunda categoría. Esto significa que las plantas que mejor recuperaron aumentaron el peso de tubérculos de la segunda categoría. El rendimiento total se correlaciona alta y positivamente con el número de tubérculos de la categoría 2 y el peso de tubérculos de la categoría 1. Lo cual significa que a mayor número de tubérculos de la categoría 2 y peso de tubérculos en la categoría 1 hubo mayor rendimiento bajo sequia con la gallinaza + micorriza.

Por lo expuesto, se deduce el uso de bioinsumos no tuvo ningún efecto sobre el grado de severidad en ambos cultivos. Esto significa que el uso de bioinsumos no influye en la respuesta de estas dos variedades al estrés hídrico. En un estudio anterior; sin embargo, la gallinaza y el humus + micorriza redujeron la severidad en 14 cultivos nativos entre los que estaban incluidos Waycha y Pinta Boca. Esto podría deberse a que en dicho estudio el nivel de severidad fue en general menor; es decir, la sequia fue menos severa. Esto significa que podría existir interacción entre el grado de sequia y el efecto de los bioinsumos.

También se observa que la variedad Waycha obtuvo menor severidad de daño por sequia que la variedad Pinta Boca. Esto también se observó en el trabajo con 14 cultivos nativos. Sin embargo, esto podría deberse a que la Waycha es tetraploide y la Pinta boca diploide y no necesariamente a que sea más resistente a la sequia.

Los bioinsumos tampoco tuvieron ningún efecto en la capacidad de recuperación de ninguna de las dos variedades en el presente trabajo. Sin embargo, en el estudio previo la gallinaza sí ayudó a incrementar la capacidad de recuperación. En dicho estudio, la CR fue mayor. Aparentemente, esto se debería a que la severidad era menor y por tanto las plantas recuperaron con mayor facilidad.

En este trabajo también se observa que el rendimiento de la variedad Waycha bajo sequia con los bioinsumos gallinaza + micorriza y gallinaza fue estadísticamente igual a los obtenidos con los mismos bioinsumos bajo riego. Sin embargo, el bioinsumo gallinaza + micorriza es con el que se obtuvieron los mayores rendimientos tanto bajo riego como bajo sequia. Finalmente, la ausencia de bioinsumo (testigo absoluto) redujo los rendimientos al máximo tanto en riego como bajo sequia. Es mas, el rendimiento del testigo bajo riego fue inferior al obtenido con gallinaza bajo sequia. Esto quiere decir que la falta de cualquier bioinsumo redujo más el rendimiento en la Waycha que la sequia.

En el caso de la variedad Pinta Boca, se observa también que el rendimiento obtenido bajo sequia con el bioinsumo gallinaza + micorriza fue estadísticamente igual al obtenido con el mismo bioinsumo bajo riego. Asimismo, el bioinsumo gallinaza + micorriza es con el que se obtuvieron los mayores rendimientos tanto bajo riego como bajo sequia. Del mismo modo, la ausencia de bioinsumo (testigo absoluto) redujo los rendimientos al máximo tanto en riego como bajo sequia. Sin embargo, a diferencia de la Waycha, el rendimiento obtenido con el bioinsumo gallinaza bajo sequia fue inferior al obtenido bajo riego e igual a los obtenidos con los testigos absolutos tanto bajo riego como bajo sequia. En el caso de la Pinta Boca, la ausencia de bioinsumo tuvo el mismo efecto que la sequia. Esto se debe a que esta variedad registró mayor severidad que la Waycha.

En el mismo trabajo previo sobre resistencia al estrés hídrico por sequía con la aplicación de bioinsumos en 14 cultivares nativos se encontró que el GM se asoció moderada y positivamente con la CR, esto indicaría que cuanto mayor fue la severidad, menor fue el grado de recuperación. Es lógico suponer que cuanto más severidad alcanzó un cultivar le fue más difícil recuperarse. En nuestro caso no observamos ninguna asociación. Esto se debería tal vez a que solamente usamos dos cultivares; por tanto, el número de unidades experimentales y por consecuencia de datos fue menor. Además el grado de severidad en nuestro experimento fue mayor al obtenido el trabajo previo.

En este estudio encontramos que cuando no se aplica ningún bioinsumo bajo sequía la severidad esta negativa y estrechamente relacionada con la altura de planta. Esto significa que las plantas altas son las que mejor resisten la sequía pero también significa que no existió uniformidad en el tamaño de las plantas bajo sequía. En ausencia de bioinsumo también se observa que la recuperación esta estrechamente ligada con el número de hojas. Es decir las plantas con más hojas recuperaron mejor y al mismo tiempo que no existió uniformidad en el número de hojas en las plantas bajo sequía sin aplicación de bioinsumos.

En el caso de los bioinsumos gallinaza y gallinaza + micorriza, no existió correlación de la severidad y recuperación con ninguna de las variables. Esto significa que el uso de bioinsumos en estas dos variedades sometidas a sequía si bien no logro reducir el daño de severidad por sequía logró que la severidad no afectara indirectamente ninguna de las demás variables.

Conclusiones

En el estudio anterior en 14 variedades nativas el uso de gallinaza en una sequía menos severa mejoró las variables de respuesta GM, CR y Y. En el presente estudio, la falta de recuperación con el uso de bioinsumos podría explicarse por la disminución de pérdidas en rendimiento. Es decir, mientras con el testigo absoluto se logró mayor recuperación, el rendimiento fue pobre. Las plantas emplearon sus fotosintatos en mantener la parte aérea y no así en la producción. En cambio, con el uso de bioinsumos la planta destina los fotosintatos a la producción de tubérculos. En este caso, la combinación de la gallinaza con la micorriza resultó ser el bioinsumo más eficiente bajo una sequía severa.

Referencias

- Angulo, A.; M. Siles; R. Ríos; J. Gabriel. 2009. Caracterización de 118 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) del Banco de Germoplasma del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani para resistencia a sequía. *Revista de Agricultura* 42 (60): 25-31.
- Blum, A. 1993. Selection for sustained production in water deficit environments. *Crop Sci.* 1: 343-347.
- Ceccarelli, S. 1984. Plant responses to water stress. *Gen. Agr.* 38:43-74.
- Ekanayake, I.J. 1993. Estudios sobre el estrés hídrico por sequía y necesidades de riego de la papa. Lima Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 38 p.
- Gabriel J, Porco P, Angulo A, Magne J, La Torre J, Mamani P (2011) Genetic resistance to water stress by drought in potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under greenhouse conditions. *Revista Latinoamericana de la Papa* (Perú) Vol. 16 (2): 173 - 208.
- Gabriel, J. 2010. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. ISBN: 978-99954-743-2-4, Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- Gonzales A (2009) aplicación del medidor portátil de clorofila En programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología* 4: 111-116.
- Hooker, W.J. 1982. Compendio de enfermedades de la papa. Trad. del Inglés por Teresa Ames de Icochea. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 165 pp.
- Iriarte V, Condori B, Parapo D, Acuña D (2009) Catálogo etnobotánico de papas nativas del Altiplano Norte de La Paz-Bolivia. Cochabamba, Bolivia. 142 pp.
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE). 2008. Bolivia: Eventos adversos de origen natural reportados, según tipo de evento, 2002–2008. <http://www.ine.gov.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC80601.HTM>. Consulta: Julio - 2011.
- Mamani, P. 2000. Effet de la secheresse sur six variétés de pomme de terre dans les andes boliviennes. Tesis M.Sc., Université Catholique de Louvain, Faculte des Sciences Agronomiques, Bélgica. 43 p.

- Martinez – Garza, A. 1988. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Trillas, México D. F., Mexico. 756 p.
- Miller, D.E.; M.W. Marti. 1987. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. *Am. Potato. J.* 64: 17-26.
- Ortuño N, Navia O, Medrano A, Rojas K, Torrico L (2010) Desarrollo de Bioinsumos: Un Aporte Importante a la Soberanía Alimentaria de Bolivia. *Revista de Agricultura* (47): 31-35.
- Ortuño N, Navia O, Meneces E, Borja D, Villca S, Plata G, Claros M, Gutiérrez C, Arandia W, Crespo L, S/F. Catalogo de Bioinsumos para mejorar la producción de los cultivos ecológicos y convencionales. PROINPA-BIOTOP, Cochabamba, Bolivia. P.13-14.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT Users Guide, Version 9.2, Fourth Edition, Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Siles M (2005) Diseño de bloques incompletos con una sola repetición en la evaluación preliminar de material avanzado en programas de mejoramiento genético de cultivos. *Revista de Agricultura* 34: 39-45.
- Terrazas F, Cadima X, García R & Zeballos J (2008) Catálogo etnobotánico de papas nativas. Tradición y cultura de los Ayllus del Norte Potosí y Oruro. Ricerca & Cooperazione, Unión Europea, Centro de Apoyo a Desarrollo, GTZ, Fundación PROINPA, MDRyMA. Cochabamba - Bolivia. 189 p.
- Zeballos H. 1997. Aspectos Económicos de la Producción de papa en Bolivia. COSUDE, CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Cultivares evaluados por su reacción al estrés hídrico por sequía y a la aplicación de bioinsumos. Año 2013.

Cultivar	Especie	Ploidía	Procedencia
Pinta boca	stn	2n=2x=24	Candelaria
Waych'a	adg	2n=4x=48	Cochabamba

Leyendas: stn: *Solanum stenotomum* y adg: *Solanum andigena*.

Tabla 2. Análisis de varianza (Anva) para severidad, recuperación y rendimiento en dos cultivares nativos sometidos a estrés hídrico por sequía y reacción a la aplicación de bioinsumos. Año 2013.

F.V.	GM			CR		YT	
	GI	C.M.	σ^2	C.M.	σ^2	C.M.	σ^2
Bloque	3		<0.01		0		0.37
Sequia	1	4.57**		8.29**		104.22	
Bioinsumo	2	0.01		0.03		227.93**	
Variedad	1	0.07**		0.21**		159.35**	
Bloque*Sequia	3		<0.01		0		0.76
Bloque*Bioinsumo	6		0		<0.01		0
Sequia*Bioinsumo	2	0.01		0.03		6.21	
Sequia*Variedad	1	0.07**		0.21**		0.26	
Bioinsumo*Variedad	2	0.01		0.02**		15.84**	
Sequia*Bioinsumo*Variedad	2	0.01		0.02		1.76	
Residual	24		<0.01		0.01		2.52
C.V.		5.3		5.71		24.77	
R ²		0.97		0.97		0.92	

** Diferencias significativas a Pr<0.01

Tabla 3. Correlación de Pearson para severidad, grado de recuperación y rendimiento con todas las variables de respuesta evaluadas para sequía sin uso de bioinsumo. Año 2013.

	GM	CR	AP	NT	NH	PC	RCA	CF	VT	NI	NII	NIII	NIV	PI	PII	PIII	PIV	YT
GM	1	-0,68	-0,93	-0,10	-0,83	0,28	0,27	-0,72	-0,40	.	-0,66	-0,73	-0,92	.	-0,71	-0,77	-0,92	-0,8
		0,06	<0,01	0,81	0,01	0,49	0,52	0,05	0,33	.	0,07	0,04	<0,01	.	0,05	0,03	<0,01	0,02
CR	-0,68	1	0,62	-0,19	0,89	0,1	-0,48	0,09	0,61	.	0,71	0,72	0,77	.	0,68	0,66	0,81	0,74
	0,07		0,01	0,65	<0,01	0,82	0,23	0,83	0,11	.	0,05	0,04	0,02	.	0,06	0,07	0,02	0,04
YT	-0,8	0,74	0,76	-0,04	0,85	-0,19	-0,07	0,44	0,5	.	0,96	0,98	0,8	.	0,98	0,95	0,81	1
	0,02	0,04	0,03	0,92	0,01	0,65	0,88	0,27	0,20	.	<0,01	<0,01	0,02	.	<0,01	<0,01	0,01	

Leyendas: GM – Grado de marchitez o Severidad (0: Normal, 5:muerto), CR – Capacidad de recuperación (0: no recupera, 5: Completamente recuperado), AP – Altura de planta (cm), NT – Número de tallos, NH – Número de hojas, PC - Porcentaje de clorofila, RCA – Contenido Relativo de humedad, CF – Cobertura Foliar, VT– Volumen de raíz (cm³), NI – Número de tubérculos en la categoría 1, NII – Número de tubérculos en la categoría 2, NIII - Número de tubérculos en la categoría 3, NIV – Número de tubérculos en la categoría 4, PI – Peso de tubérculos en la categoría 1, PII – Peso de tubérculos en la categoría 2, PIII – Peso de tubérculos en la categoría 3, PIV – Peso de tubérculos en la categoría 4, YT – Rendimiento total (t/ha), Números en negrilla son las correlaciones altas y significativas.

Tabla 4. Correlación de Pearson para severidad, grado de recuperación y rendimiento con todas las variables de respuesta evaluadas para sequía con el uso del bioinsumo gallinaza. Año 2013.

	GM	CR	AP	NT	NH	PC	RCA	CF	VT	NI	NII	NIII	NIV	PI	PII	PIII	PIV	YT
GM	1	-0,71	-0,33	-0,54	-0,53	-0,74	-0,04	-0,64	-0,3	-0,4	-0,52	-0,77	-0,54	-0,34	-0,6	-0,85	-0,5	-0,69
		0,05	0,43	0,17	0,17	0,04	0,92	0,09	0,47	0,32	0,18	0,03	0,17	0,41	0,11	<0,01	0,17	0,06
CR	-0,71	1	0,39	0,28	0,76	0,65	-0,15	0,34	0,17	0,39	0,61	0,51	0,42	0,41	0,68	0,49	0,56	0,62
	0,05		0,34	0,49	0,03	0,08	0,72	0,42	0,69	0,33	0,11	0,20	0,29	0,32	0,07	0,21	0,15	0,09
YT	-0,69	0,62	0,62	0,47	0,47	0,42	0,58	0,82	0,36	0,79	0,91	0,88	0,87	0,76	0,97	0,89	0,95	1
	0,06	0,09	0,11	0,24	0,24	0,3	0,13	0,01	0,39	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	

Leyendas: GM – Grado de marchitez o Severidad (0: Normal, 5:muerto), CR – Capacidad de recuperación (0: no recupera, 5: Completamente recuperado), AP – Altura de planta (cm), NT – Número de tallos, NH – Número de hojas, PC - Porcentaje de clorofila, RCA – Contenido Relativo de humedad, CF – Cobertura Foliar, VT– Volumen de raíz (cm³), NI – Número de tubérculos en la categoría 1, NII – Número de tubérculos en la categoría 2, NIII - Número de tubérculos en la categoría 3, NIV – Número de tubérculos en la categoría 4, PI – Peso de tubérculos en la categoría 1, PII – Peso de tubérculos en la categoría 2, PIII – Peso de tubérculos en la categoría 3, PIV – Peso de tubérculos en la categoría 4, YT – Rendimiento total (t/ha), Números en negrilla son las correlaciones altas y significativas.

Tabla 5. Correlación de Pearson de todas las variables de respuesta evaluados para el estrés hídrico por sequía con el uso del bioinsumo gallinaza + micorriza. Año 2013.

	GM	CR	AP	NT	NH	PC	RCA	CF	VT	NI	NII	NIII	NIV	PI	PII	PIII	PIV	YT
GM	1	-0,67	-0,54	0,45	0,49	0,79	0,42	-0,31	0,13	-0,67	-0,65	0,19	0,15	-0,7	-0,43	0,22	0,32	-0,61
		0,07	0,17	0,26	0,22	0,02	0,31	0,46	0,77	0,07	0,08	0,64	0,72	0,06	0,29	0,61	0,45	0,11
CR	-0,67	1	0,58	-0,61	0	-0,26	-0,28	0,14	-0,12	0,46	0,89	0,03	-0,58	0,65	0,77	-0,44	-0,57	0,72
	0,07		0,13	0,11	1	0,53	0,49	0,75	0,79	0,25	<0,01	0,94	0,13	0,08	0,02	0,27	0,14	0,05
YT	-0,61	0,72	0,68	-0,74	-0,11	-0,4	0,12	-0,23	0,39	0,61	0,85	-0,37	-0,2	0,89	0,78	-0,25	-0,25	1
	0,11	0,05	0,06	0,04	0,80	0,32	0,80	0,59	0,33	0,11	<0,01	0,37	0,63	<0,01	0,02	0,56	0,55	

Leyendas: GM – Grado de marchitez o Severidad (0: Normal, 5:muerto), CR – Capacidad de recuperación (0: no recupera, 5: Completamente recuperado), AP – Altura de planta (cm), NT – Número de tallos, NH – Número de hojas, PC - Porcentaje de clorofila, RCA – Contenido Relativo de humedad, CF – Cobertura Foliar, VT– Volumen de raíz (cm³), NI – Número de tubérculos en la categoría 1, NII - Número de tubérculos en la categoría 2, NIII - Número de tubérculos en la categoría 3, NIV - Número de tubérculos en la categoría 4, PI – Peso de tubérculos en la categoría 1, PII – Peso de tubérculos en la categoría 2, PIII – Peso de tubérculos en la categoría 3, PIV – Peso de tubérculos en la categoría 4, YT – Rendimiento total (t/ha), Números en negrilla son las correlaciones altas y significativas.

Figura 1. Medias de severidad de daño por sequia para dos cultivares nativos sometidos a sequia en pre-tuberización y aplicación de bioinsumos.

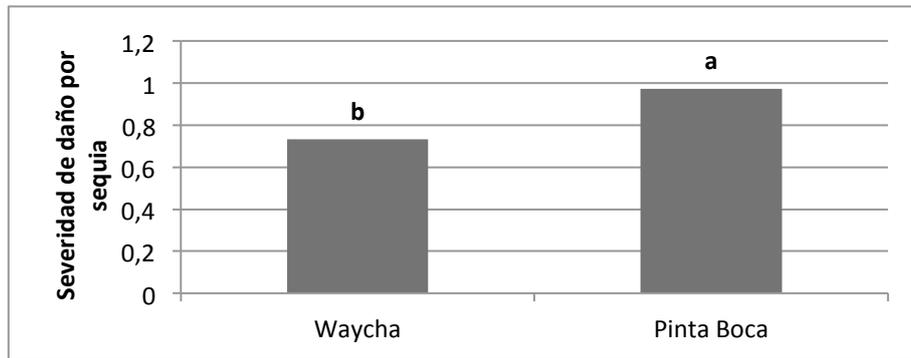


Figura 2. Medias de severidad de daño por sequia para dos tratamientos de bioinsumos junto a un testigo absoluto aplicados en dos cultivares nativos sometidos a sequia en pre-tuberización.

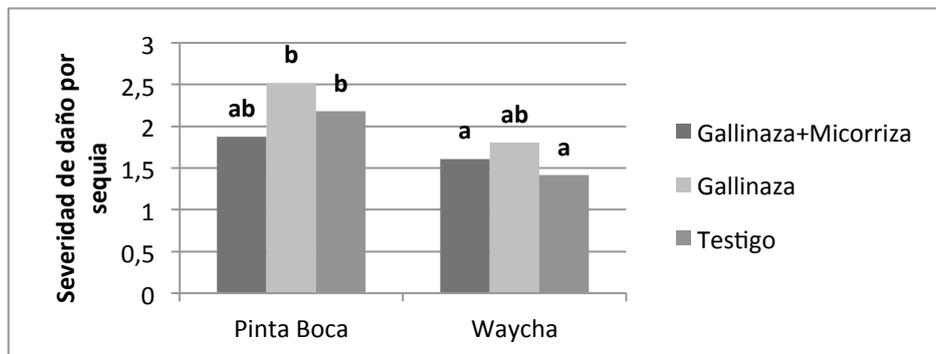


Figura 3. Medias de capacidad de recuperación para dos cultivares nativos sometidos a sequia en pre-tuberización y aplicación de bioinsumos.

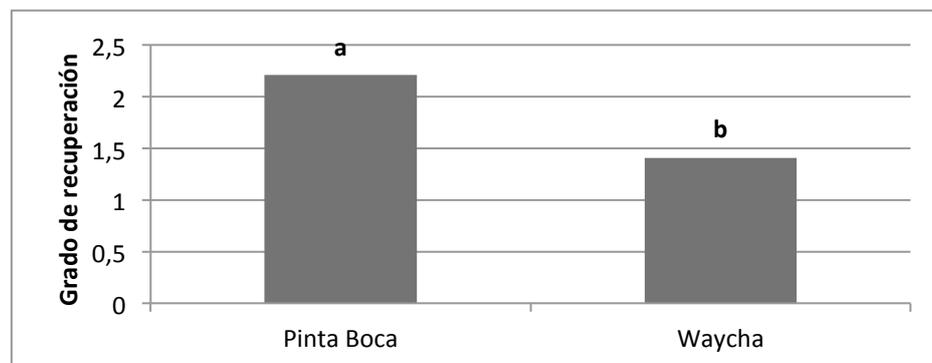


Figura 4. Medias de capacidad de recuperación para dos tratamientos de bioinsumos junto a un testigo absoluto aplicados en dos cultivares nativos sometidos a sequia en pre-tuberización.

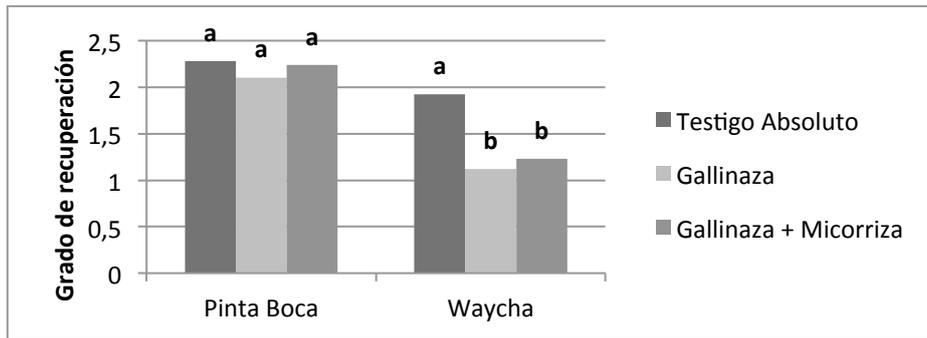


Figura 5. Rendimientos (t/ha) para dos bioinsumos bajo sequia y riego normal aplicados en la variedad Waycha junto a un testigo.

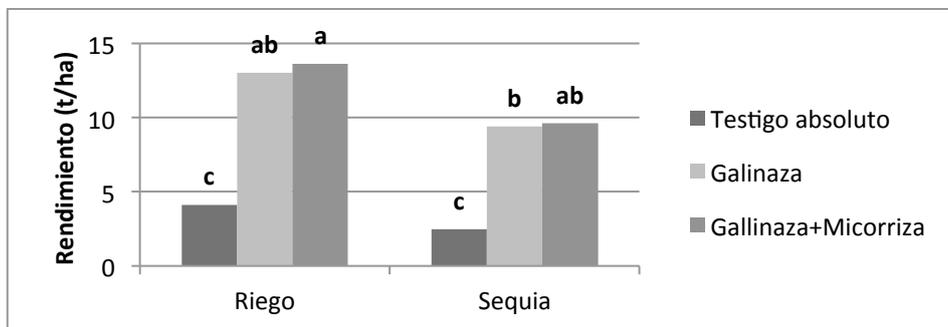
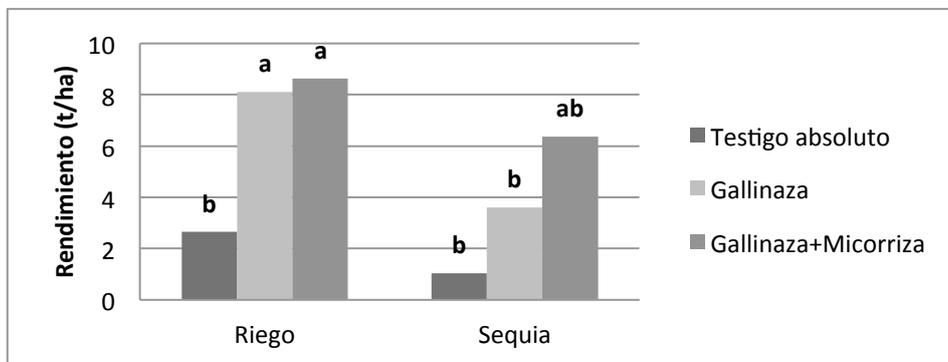


Figura 6. Rendimientos (t/ha) para dos bioinsumos bajo sequia y riego normal aplicados en la variedad Pinta Boca junto a un testigo.



Identificación y evaluación de genotipos cultivados con tolerancia a heladas en campo por el INIA - Perú

Rita Carolina Girón²⁹, Talita Cumi Sauñi Bustios³⁰, Erwin Wander Peralta Turin³⁰, Elder Ofelia Pinillos Monge³⁰

Compendio

El trabajo se inició con la selección de la zona donde se realizarían las evaluaciones participativas de variedades nativas de papa. La comunidad de Paltarumi del Distrito de Parihuanca del Perú fue elegida por reunir las características necesarias para el desarrollo de las actividades del proyecto. Inicialmente fueron encontradas e inventariadas 72 variedades nativas de papa, de las cuales 30 fueron elegidas para iniciar las evaluaciones, al cabo de tres años, se terminaron evaluando las 10 mejores con tolerancia a heladas.

Los resultados mostraron que la variedad que mejor comportamiento ha mostrado es Chaulina, seguida de Piña negra, Camotillo, Peruanita, Yana huancuy, Yana huayro, Ichipra rojo, Pumamaqui negra, Huamantanga azul y Amarilla sonco.

Todas estas variedades así como las otras que fueron colectadas en el marco del proyecto seguirán siendo conservadas y formarán parte de la colección de trabajo del Programa de Recursos genéticos del INIA, EEA Santa Ana, Huancayo.

Introducción

Según Inforesources (2008), la papa es el cuarto cultivo en importancia, después del arroz, el trigo y el maíz, es invaluable en la dieta y los medios de subsistencia de millones de personas en todo el mundo.

La papa es uno de esos cultivos que crecen incluso en condiciones desfavorables y en altitudes elevadas. Además, sólo unos pocos cultivos producen un nivel comparable de nutrientes por unidad cultivada, una cualidad particularmente bienvenida en regiones donde la tierra es escasa. Es por ello que la papa es sumamente importante para muchas familias campesinas de regiones montañosas de todo el mundo.

La papa es una importante fuente de ingresos para muchos agricultores. En la región andina, a menudo, es el único cultivo comercial que producen los pequeños agricultores.

El cambio climático remarca la importancia de los sistemas de producción agrícola sostenibles. Cuanto más estable es un ecosistema agrícola, mejor hace frente a los factores de estrés adicionales inducidos por el cambio climático. Un uso de los recursos y un manejo de la tierra sustentables constituyen formas eficaces de fortalecer un sistema agrícola. La siembra en mezcla de variedades y los cultivos mixtos (producción simultánea de más de un cultivo en una misma parcela) da lugar a una mayor biodiversidad, con lo cual también se reduce la vulnerabilidad de la parcela a los diferentes impactos meteorológicos.

En este proyecto durante los tres años de proyecto se realizaron en cada campaña agrícola parcelas experimentales que han sido instaladas en campo de los agricultores, los datos obtenidos nos permiten seleccionar las variedades de papa nativa tolerantes a heladas además, se ha realizado trabajos de caracterización y tendremos material disponible para continuar con las investigaciones y evaluaciones necesarias; todo esto ha sido realizado a través de diferentes metodologías participativas y respaldadas por cinco trabajos de tesis.

El trabajo se inició con un plan de reconocimiento de la zona en el distrito de Parihuanca para identificar la comunidad que maneja sistemas productivos de papa nativa y donde se pueda probar la tolerancia a heladas, luego de visitas de campo a cinco comunidades como Chaquicocha, Llacsapirca, Huaychula, Lampa, Parihuanca y Paltarumi, esta última fue elegida por reunir las características necesarias para el desarrollo de las actividades del proyecto.

Se realizó la colecta e inventario en almacén con cada uno de los agricultores a través de visitas personalizadas a sus viviendas utilizando una metodología de dialogo temático. Esta información se tiene procesada en registros en base a la directiva 0001 – 2005 del INIA, así mismo se cuenta con una base de datos que nos permite realizar el monitoreo y validación de la diversidad existente de cada uno de los agricultores.

²⁹ Investigadora y responsable del proyecto en el INIA-Perú

³⁰ Investigadores del proyecto en el INIA-Perú

Se inventarió 72 variedades de papa nativa en la comunidad de Paltarumi de las cuales se escogieron 30 (teniendo en cuenta el número mínimo de tubérculos para los experimentos) para los trabajos de investigación para probar tolerancia a heladas y una papa silvestre identificada como *Solanum bukasovii*.

Las tareas agrícolas se realizaron en coordinación con la comunidad para que se inserten en los trabajos de investigación de forma participativa y apoyo pleno, algunas evaluaciones de los experimentos fueron reforzadas por las tesis de grado tituladas “Caracterización fenotípica de 80 variedades nativas de papa (*Solanumsp.*) Conservadas *in situ* y *ex situ* en dos zonas de la localidad de Paltarumi – Pariahuanca”, “Tolerancia a heladas de 10 variedades nativas de papa (*Solanumsp.*) en la zona de Jallumpata - Paltarumi - Pariahuanca en dos épocas de siembra”, “Influencia de la precipitación y la temperatura en 10 variedades del cultivo de papas nativas (*Solanumsp.*) de la microcuenca de Pariahuanca”, “Resistencia al estrés hídrico de variedades nativas de papa bajo condiciones controladas en invernadero, para afrontar el cambio climático”, “Tolerancia a Heladas y Sequías de 10 variedades de papa nativa en tres localidades”, realizado por MilcaVhasti Vivanco Vila, Néstor D. Lázaro Paitampoma, Christian Valero Esteban, Samuel Sanabria Quispe y Jerson Ruiz Velásquez, respectivamente, cabe indicar que las 2 primeras ya fueron defendidas y la tesis “Sustentabilidad del cultivo de papa nativa en la comunidad de Paltarumi en un entorno de cambio climático, Pariahuanca-Junín”, desarrollado por Karina Jessica, Marmolejo Gutarra procedente de la Escuela de Post grado del doctorado de Agricultura Sustentable de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Materiales y Métodos

Para la identificación de variedades nativas con resistencia a heladas y sequía en campo, en el primer año los experimentos se condujeron en las localidades de Jallumpata y Eluyo.

Habiendo tenido el problema de que no se presentaron factores climáticos extremos en el primer año de evaluación, en las dos campañas posteriores la organización de los experimentos en bloques completamente al azar en los que se consideró mayor número de surcos por variedad para realizar simulaciones de daños por heladas de grado 1, 2, 3 y 4, para dichas simulaciones se tuvo que realizar la defoliación de 25%, 50%, 75% y 100% del área foliar de tres plantas por cada cultivar con tres repeticiones, así como de todo un surco y se realizó las evaluaciones de peso y número promedio de tubérculos por planta, con estas evaluaciones se determinó el impacto de la simulación de daños por heladas en el rendimiento de producción por cada planta. También se realizó evaluaciones fenotípicas participativas con apoyo de los comuneros como son: porcentaje de germinación, altura de plantas, porcentaje de floración, N° de tallos/planta, color de tallos, habito de crecimiento, N° de tubérculos/planta, peso de tubérculos/planta, rendimiento/parcela.

Resultados y Discusión

El carácter que mayor confianza otorga para calificar a una variedad como tolerante es el número de capas de empalizada de parénquima foliar, los resultados de las evaluaciones realizadas se observa en la Tabla 1, las variedades nativas Piña, Peruanita, Camotillo, Amarilla, Yana Huayro y Yana Huancuy presentaron dos capas de empalizada en el parénquima foliar. Estas variedades fueron usadas como progenitores para obtener nuevas combinaciones que serán evaluadas y seleccionadas en el programa de mejoramiento genético de la papa.

En la misma Tabla 1 también se presenta el rendimiento de las variedades, las variedades nativas que sobresalen son: Chaulina con 0.593 gramos por planta, Yana Huayro con 0.527 gramo por planta y la variedad Ichipra Rojo con 0.497 gramos por planta. Así mismo para una mejor comprensión de los resultados por unidad de área se llevó esta información a t/ha, considerando que en promedio la población de plantas es de 25,000. En general las variedades alcanzaron un rendimiento entre 5 a 14 t/ha. De las cinco variedades nativas que obtuvieron los mayores rendimientos 3 variedades tienen doble capa de empalizada en el parénquima foliar (Yana Huayro, Camotillo y Peruanita), los cuales son el potencial genético para la obtención de nuevas progenies.

En la campaña 2012-2013 los datos obtenidos en las dos zonas de trabajo (Paltarumi y Yanacancha) mostraron que las variedades en estudio presentaron diferencias significativas en respuesta al ambiente. Como se observa en la Figura 1 el porcentaje de emergencia en Yanacancha fue superior al 80% en todas las variedades, mientras que en Paltarumi los mayores porcentajes lo presentaron las variedades Ichipra y Chaulina con un 40 y 55% respectivamente. También hubo variaciones en periodo de desarrollo: a pesar de que la siembra en Yanacancha se realizó el 15 de noviembre, mientras que en Paltarumi se instaló el 13 y 14 de setiembre, la cosecha en Yanacancha se realizó el 18 de abril y en Paltarumi el 15 de mayo.

De igual forma podemos observar en la Figura 2 que en las zonas en estudio Paltarumi (Uchapata y Jallumpata) y Yanacancha los factores evaluados del cultivo en las diferentes variedades como altura de planta, número y peso de tubérculos por planta, presentaron diferencias significativas bajo los diferentes tratamientos de corte de follaje.

Los resultados obtenidos a través de los tres años de evaluación fueron comparados y se muestran en la figura 3, donde es evidente un mejor performance de las variedades (peso de tubérculos) de papa nativa en la localidad de Yanacancha en la gestión 2012-2013.

Como podemos observar en la Tabla 2, en base al promedio de producción por planta, en los tres años de evaluación, las variedades que mejores rendimientos han reportado son en primer lugar Chaulina con 674.73 g/planta, expresado en t/ha teniendo una población de 25.000,00 plantas, haría un rendimiento de 16,85t/ha mostrándose como la más estable en los diferentes ambientes evaluados, seguida de Piña negra con un promedio de 591,72 g/planta y 14,78 t/ha.

Conclusiones

Al cabo de tres años de evaluaciones, la variedad que mejor comportamiento ha mostrado es Chaulina, seguida de Piña negra, Camotillo, Peruanita, Yana huancuy, Yana huayro, Ichipra rojo, Pumamaqui negra, Huamantanga azul y Amarilla sonco.

Todas estas variedades así como las otras que fueron colectadas en el marco del proyecto seguirán siendo conservadas y formarán parte de la colección de trabajo del Programa de Recursos genéticos del INIA, EEA Santa Ana, Huancayo.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Variables indicadoras de tolerancia a heladas en las variedades nativas de papa seleccionadas para el estudio por el INIA-Perú

Variedades	Especie	Procedencia	Nº de capas de empalizada del parénquima foliar	Peso de tubérculos por planta	Rdto /ha (25000 plantas)
Pumamaqui Negra	<i>Solanum sp.</i>	<i>Ex situ</i>	1	0.232	5.8
Huamantanga Azul	<i>S. stenotomum</i>	<i>In situ</i>	1	0.362	9.05
Chaulina	<i>S. phureja</i>	<i>In situ</i>	1	0.593	14.82
Ichipra Rojo	<i>S. stenotomum</i>	<i>In situ</i>	1	0.497	12.42
Piña	<i>S. tuberosum ssp. andigena</i>	<i>Ex situ</i>	2	0.403	10.07
Peruanita	<i>S. goniocalyx</i>	<i>Ex situ</i>	2	0.495	12.37
Camotillo	<i>S. goniocalyx</i>	<i>In situ</i>	2	0.496	12.40
Amarilla	<i>S. x chaucha</i>	<i>In situ</i>	2	0.295	7.37
Yana Huayro	<i>S. x chaucha</i>	<i>Ex situ</i>	2	0.527	13.17
Yana Huancuy	<i>S. tuberosum ssp. andigena</i>	<i>Ex situ</i>	2	0.361	9.25

Tabla 2. Promedio de producción por planta en los 3 años de evaluación de 10 variedades de papa nativa, INIA-Perú

Variedades	Promedio general 3 años de evaluación (gr/planta)
Chaulina	674,73
Piña negra	591,72
Camotillo	586,31
Peruanita	575,71
Yana huancuy	555,16
Yana huayro	550,25
Ichipra rojo	535,5
Pumamaqui negra	529,93
Huamantanga azul	505,28
Amarilla soncco	486,67

Figura 1. Comportamiento de 10 variedades nativas de papa en dos localidades, Paltarumi (Uchupata y Jallumpata) y Yanachancha, Perú

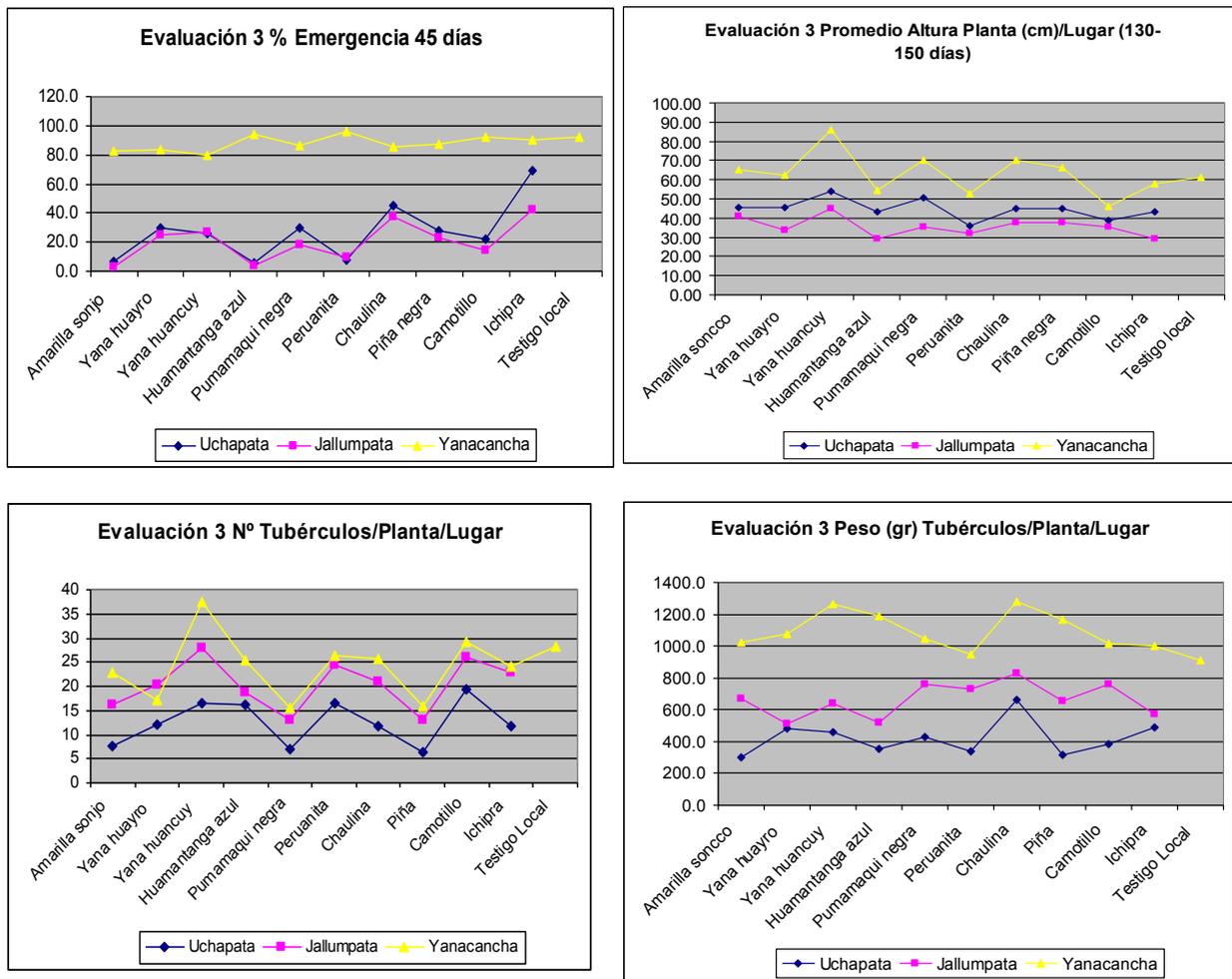


Figura 2. Datos de número y peso de tubérculos obtenidos en 10 variedades de papa nativa sometidas a cortes de follaje como simulación de heladas, INIA-Perú

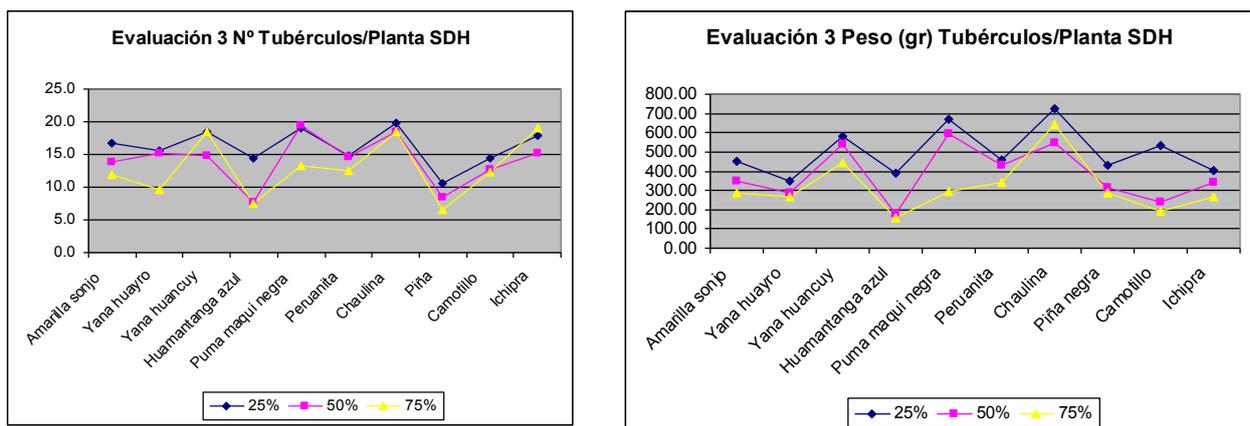
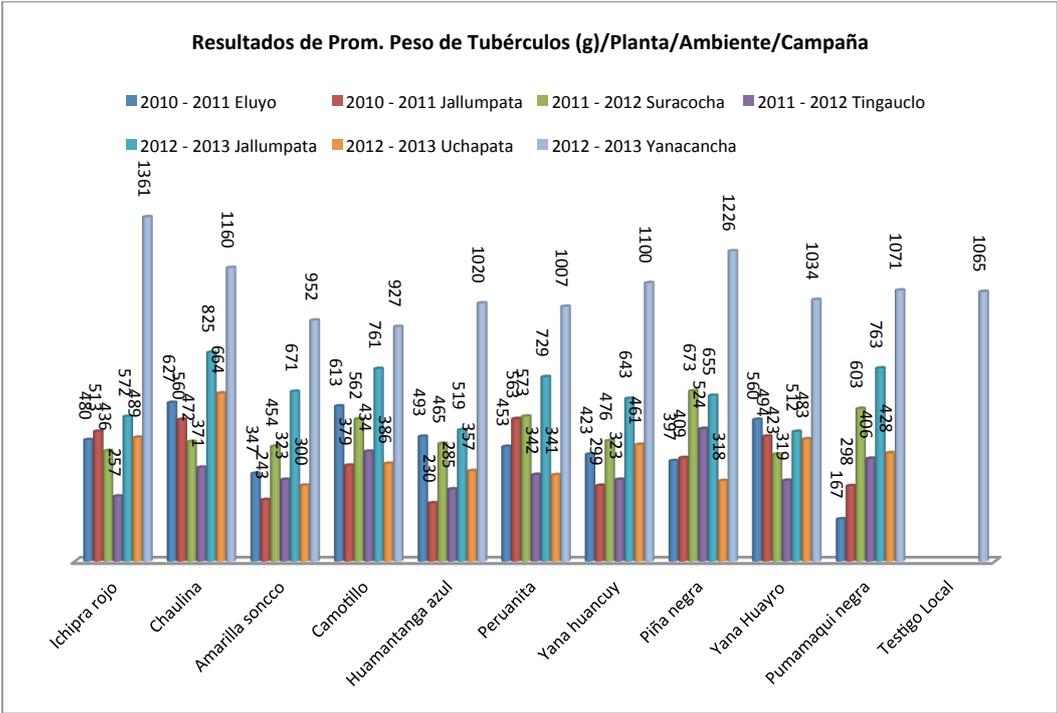


Figura 3. Promedio de peso de tubérculos (g) de papa nativa por planta, por ambiente, por campaña agrícola, evaluados por el INIA-Perú



Componente 3.
Monitoreo y análisis del cambio climático

Levantamiento de la percepción local sobre cambio climático en comunidades altoandinas de Bolivia

Mirko Delfín, Milton Pinto, Víctor Iriarte, Eliseo Mamani, Bruno Condori¹

Compendio

Las consecuencias de la variabilidad climática y de otros efectos del clima son claramente percibidas por los agricultores, quienes principalmente hacen referencia a la irregularidad, intensidad y frecuencia de los factores climáticos. En el marco de este proyecto se levantó la percepción general de agricultores de Norte Potosí (una comunidad), del Altiplano de La Paz (dos comunidades) y de la puna de Cochabamba (una comunidad) mediante talleres participativos y entrevistas. Los agricultores de Chiru K'asa (Norte Potosí) consideran que el granizo, las heladas, lluvias torrenciales en cortos periodos, la sequía y la intensidad del sol son los factores climáticos más preponderantes en lo que respecta al cultivo de la papa. Por su parte, los agricultores de Cariquina Grande (La Paz) y Kewiñal (Cochabamba) mostraron una mayor preocupación por los cambios en los periodos de lluvia (retraso), la intensidad del sol y la sequía. En Coromata Media, la irregularidad de las lluvias también son la principal preocupación, luego las heladas imprevistas en época de cultivo y los granizos intensos. Además de estos factores, una preocupación generalizada es el incremento de plagas y enfermedades por efecto del cambio en el clima, particularmente el tizón tardío en la papa, y otras nuevas plagas que aparecieron en los últimos años que afectan a los otros cultivos y al ganado. Todos estos factores ocasionan cambios en el calendario agrícola, como retraso de las épocas de cultivo y en la cosecha, pero también nuevas épocas de siembra y más cultivos que antes no se sembraban.

Introducción

Los sistemas tradicionales de cultivo son agroecosistemas diversos y complejos que integran el ambiente, las poblaciones (vegetales y animales) y el hombre. Se conocen como: fincas, conucos, huertos caseros o familiares, o campos del agricultor. Son ecosistemas modificados o creados por el hombre y funcionan adaptándose en lo posible a las condiciones ambientales. Son pequeños pero mantienen poblaciones de gran diversidad de especies que se siembran y mantienen a través del tiempo, es decir, sobre las cuales existe una demanda y una tradición de uso. En los últimos años se han registrado una variación significativa en el comportamiento climático, lo que está originando cambios que causan desgaste del material biológico y la diversidad genética, además de afectar directamente a la agro biodiversidad y a los agroecosistemas debido a la falta de lluvias en épocas de siembra, presencia de heladas, presencia de granizo e inundaciones en las comunidades, para lograr un correcto manejo de la agrobiodiversidad y fortalecer las medidas de adaptación es importante conocer la percepción de los agricultores para reintegrar practicas locales.

En este proyecto se ha realizado un registro de la percepción local sobre los cambios que en está ocurriendo en el clima en cuatro comunidades representativas de zonas altoandinas productoras de papa en Bolivia: Chiru K'asa en el Norte Potosí, Cariquina Grande en el Altiplano norte de La Paz, Kewiñal en la zona de puna de Cochabamba y Coromata Media cerca a la riberas del lago Titicaca en La Paz.

Materiales y Métodos

Encuestas a agricultores sobre el cambio climático

Se formularon encuestas tratando de mantener un lenguaje sencillo y de fácil comprensión por los agricultores. Los temas abordados en las mismas fueron:

- La aparición o no de cambios en el clima
- Cómo y qué factores del clima cambiaron recientemente.
- Factores climáticos que afectan al cultivo de la papa y en que etapa de la misma lo hacen
- Variedades de papa resistentes a helada, sequía y a exceso de agua.
- Los indicadores naturales que permiten predecir el clima o la evolución del cultivo.
- Las acciones en marcha para contrarrestar los efectos de los diferentes fenómenos climáticos.

¹ Investigadores Area Temática Agrobiodiversidad Fundación PROINPA

Elaboración del mapa de la Comunidad

Se construyeron mapas parlantes y satelitales de las zonas de estudio incluyendo los sistemas agrícolas tradicionales, para que sobre esas imágenes los agricultores en un taller participativo identifiquen las principales amenazas como sequía e helada y también identifiquen los elementos vulnerables sobre sus cultivos.

¿Cómo está cambiando el clima en nuestra zona?

La pregunta tuvo como finalidad conocer la percepción de los agricultores respecto a cambios que ellos perciben del clima, resaltando el *antes* y el *ahora*, para ello se dibujó en un papelógrafo una escala de tiempo donde se anotó los principales eventos climáticos como sequías, heladas, granizadas, etc.

¿Cuáles son los efectos en los cultivos?

En esta parte los agricultores priorizaron sus cultivos haciendo énfasis en los cultivos de antes y los cultivos de ahora dentro de los sistemas agrícolas de sus comunidades, con el objetivo de ver si se perdieron algunos cultivos por efecto del cambio climático o si se ha incrementado la diversidad de cultivos por efecto del cambio climático u otros factores. Para ello se dibujo un cuadro en un papelógrafo.

En papelógrafos los agricultores también indicaron las plagas y enfermedades por cultivos, haciendo énfasis en el *antes* (alrededor de 1952, época de la reforma agraria en Bolivia) y el *ahora*, de igual manera que el primer punto, la finalidad es conocer si han existido las plagas o enfermedades en sus cultivos, o han aparecido nuevas plagas o enfermedades.

Se incentivó también a que los agricultores identificaran algunas medidas que están tomando para hacer frente a los cambios y efectos en sus cultivos.

Calendario Agrícola

En esta parte los agricultores dibujaron un calendario agrícola, con la finalidad de anotar los periodos de siembra, periodos de cosecha, rendimiento de los cultivos y cuanto de la producción se destina al mercado y al consumo, resaltando el *antes* y el *ahora*.

Indicadores naturales que emplean para conocer el clima

El objetivo de este punto fue conocer si en la zona se sigue empleando algunos indicadores naturales.

Resultados y discusión

Se registró información de la percepción local a cerca del cambio climático en comunidades altoandinas de Bolivia de Potosí, La Paz y Cochabamba.

Mapas de la Comunidad

A través de talleres participativos hombres como mujeres de las comunidades identificaron las principales amenazas ya sea en mapas parlantes o en mapas satelitales (Fig. 1). En Chiru K'asa (Norte Potosí), la amenaza recurrente fue la helada, seguido de la sequía y en menor grado la granizada. En Cariquina Grande (La Paz) los agricultores identificaron 12 ayñoq'as, donde dibujaron tres amenazas recurrentes, siendo la helada (juyki) la de mayor riesgo, seguido del granizo y por último la sequía, que afecta sobre todo las partes bajas (sayañas). En Coromata Media (La Paz), los agricultores identificaron 9 ayñoq'as, y otros sistemas tradicionales como sayañas y bofedales, los cuales presentan diferentes amenazas de acuerdo a su ubicación: las amenazas más recurrentes como la helada, afecta al 70% de las ayñoq'as por ubicarse en una planicie sin protección de cerros, otra amenaza recurrente es la sequía seguido del granizo que viene de la parte alta (comunidades vecinas).

¿Cómo está cambiando el clima en nuestra zona?

En general las percepciones de los agricultores, especialmente de las personas de mayor edad, indican que hay cambios en las lluvias, heladas, granizadas y temperaturas en lo que era antes y lo que es ahora (Fig. 2) y mencionaron lo siguiente:

- *Antes las lluvias eran más homogéneas y regulares, ahora el clima está más caliente y las noches más frías. Las lluvias caen a destiempo, y lo que afecta en la siembra y cosecha, en vano queremos sembrar pero ya no llueve a su tiempo, el agua de los ríos rebaja mucho en época de invierno o se seca, antes era constante. Cuando caen las lluvias son más fuertes y duran poco tiempo, antes suavito llovía, bien entraba el agua ahora por encima esta mojado.*

- *En las heladas invernales antes daba para hacer chuño, ahora ya no está llegando la helada, de un lado a otro manejamos las papas cuando el cielo está despejado de repente se nubla y llueve cuando le moja la lluvia arruina nuestros chuños ya no hay caso de acertar. Estos cambios están ocurriendo desde el año 1998.*
- *Antes las heladas en la época de cultivo llegaban en fechas conocidas (por ejemplo para el 2 de Febrero (Virgen de Candelaria), 30 de Noviembre (San Andrés), 20 de Enero (San Sebastián), 24 de Enero (Alasitas)), había que cuidarse de estas fechas porque las plantas estaban en floración, pero ahora ya no ocurre eso, ya que las fechas de la helada han cambiado, ya no se puede predecir.*
- *Respecto a la sequía, ahora está más seco que antes y está haciendo más calor. La época de sequía es más fuerte y larga.*
- *El sol es más fuerte, quema y hace arder la piel, antes no era necesario utilizar sombrero pero ahora nos quema las manos y la cara, la ropa seca muy rápido antes en dos días secaba ahora hasta en medio día ya seca la ropa está muy fuerte el calor.*
- *El granizo es muy fuerte destruyen las plantas, pero el granizo camina no afecta a todos por sectores camina, pero viene de los cerros mayormente.*

¿Cuáles son los efectos en los cultivos?

Junto con los agricultores de las comunidades se identificaron los cultivos que sembraban antes y los que siembran ahora. En el caso de Chiru K'asa antes había más de 100 variedades de papa y ahora existe 75 variedades. Según los agricultores, esta pérdida se debe a varios factores, uno de los principales es por la degeneración de la semilla. Los agricultores de Coromata Media también coincidieron con que han perdido variedades nativas de papa y ellos atribuyen al retraso de las lluvias porque ya no pueden sembrar a tiempo, y por lo tanto tienen que reducir la superficie de sus cultivos. Se resalta tanto en Chiru K'asa como en Cariquina Grande que ahora se reportan otros cultivos (y variedades) que antes no se sembraban, la mayoría sin embargo se cultivan en pequeña escala, para alimento de las familias (Tabla 1). Esto puede deberse a que las condiciones climáticas, especialmente el incremento de la temperatura en estas zonas ha permitido la introducción de nuevos cultivos que antes no era posible cultivarlos por las bajas temperaturas.

Otro efecto son las plagas y enfermedades, en la Tabla 2 se observa para los cultivos de papa, trigo y cebada las principales plagas y enfermedades en Chiru K'asa, según los agricultores manifiestan que en el cultivo de la papa, antes había poco tizón y ahora se ha incrementado y con mayor incidencia. En Cariquina Grande los agricultores mencionan que el tizon recién apareció desde 1990 (Fig. 3). El problema del tizon es generalizado, todas las comunidades resaltan que ahora esta enfermedad es más agresiva. Hay plagas que antes no eran problema, como el gusano en la oca, como fue mencionado por los agricultores de Kewiñal, o el gorgojo en la papa y las ticonas en la quinua que son nuevas en Coromata Media. El ganado también se ve afectado con nuevas plagas, e incluso las personas se resfrían más.

En Coromata Media los agricultores mencionaron además algunas medidas que están tomando para contrarrestar los efectos del cambio climático, como ser: mayor cuidado de los cultivos como fumigar para controlar las plagas como el gorgojo, utilizar abonos orgánicos para ayudar a las plantas, utilizar mejores semillas mediante compras en ferias, y cambio de semillas, cuidado de los sistemas de riego, en parcelas con acequias, tratamientos a las enfermedades de los ganados como vacunas, mejoramiento de ganado con compra de mejores vacas.

Calendario Agrícola

Los agricultores indicaron que hay cambios en el calendario agrícola como retrasos o adelantos en la época de siembra y cosecha, o la implementación de nuevas épocas y cultivos.

Antes la papa *miskha* en Chiru K'asa no se sembraba y ahora siembran desde Agosto hasta Enero. Respecto a la papa temporal antes sembraban a mediados de agosto y ahora siembran a mediados de septiembre, debido al retraso del periodo de las lluvias. Por otra parte el cultivo de haba antes no se sembraba y ahora siembran desde agosto hasta diciembre.

Igualmente en Cariquina Grande los agricultores mencionaron que las papas en aynoq'a antes sembraban a finales de agosto y ahora por los cambios en el clima están sembrando en octubre. La cosecha de la cebada antes era en abril ahora es entre mayo y junio (Tabla 3). Situación similar sobre el retraso de la siembra de papa es reportada en Kewiñal. En el caso de Coromata Media los agricultores mantienen la fecha de inicio de siembra de papa, pero las cosechas fueron adelantadas un mes. Cambios fueron reportados para los cultivos de cañahua y forrajes.

Indicadores naturales para predecir el clima

Se observa en la Tabla 4 que los agricultores mencionaron cuatro indicadores, esto porque muchos no se acuerdan o no conocen. Los dos primeros indicadores indican que se han mantenido en la predicción y los dos últimos mencionan que varían de acuerdo a cambios en el clima.

Matriz de vulnerabilidades

Se construyó con los agricultores de cada comunidad matrices de vulnerabilidades, donde en una columna se tiene sus medios de vida y en la fila se tiene las principales amenazas. El caso de Coromata Media resume la situación que se reporta en forma similar en las otras comunidades (Tabla 5). Se puede advertir que la helada afecta mucho en la producción de cultivos principalmente a la papa y en la alimentación familiar, la sequía es la que más afecta en los medios de vida de las familias, que por las falta de lluvias oportunas afectan en las siembras de cultivos y forrajes para ganado, lo que también afecta a la alimentación de las familias. También se estableció que plagas como el gorgojo de los andes afecta al cultivo de papa y por consiguiente afecta a los ingresos económicos. Otras plagas importantes afectan también al ganado, en el caso de Coromata la *Faciola hepática* afecta principalmente al ganado ovino y vacuno, ambos tipos de ganado son también fuente de ingresos económicos de los agricultores.

Conclusiones

- ✓ Es evidente que los agricultores perciben cambios en el clima, particularmente en las lluvias (retrasos, periodos más cortos e irregulares), lo cual provoca menor humedad en el aire, en el suelo y por lo tanto los periodos de sequía son más largos y se siente más calor que antes.
- ✓ Respecto a las plagas, el mayor problema es el tizón tardío, los agricultores mencionan que antes no había o había muy poco, los efectos recién aparecieron desde inicios de la década del 90, y ahora tiene mayor incidencia, también afirman que la enfermedad está subiendo a las partes más altas por efecto de la temperatura.
- ✓ Los jóvenes agricultores de hoy ya no valoran el conocimiento ancestral sobre los indicadores naturales para predecir los cambios en el clima, este conocimiento se está quedando en los viejos y por lo tanto se está perdiendo. Por otro lado, debido a la gran variabilidad climática en cortos periodos de tiempo, los indicadores naturales ya no son tan efectivos y puede ser la causa por la que los jóvenes agricultores ya no los utilizan. Por ello, los agricultores actuales requieren de nuevas herramientas que les ayuden a pronosticar el clima, por ello la importancia de proporcionar estaciones meteorológicas sencillas para manipuleo de las comunidades locales.
- ✓ La pérdida de variedades particularmente de papa entre el “antes” y el “ahora” reportado por los agricultores, puede deberse a una degeneración de la calidad de la semilla, que se ha visto exacerbada por los problemas climáticos.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Principales cultivos en la zona de Chiru K'asa (Norte Potosí) y Cariquina Grande (La Paz)

Chiru K'asa		Cariquina Grande		
Antes	Ahora	Antes	Ahora	
Papa (100 variedades)	Papa (75 variedades)	Zona Alta (Ayllu)	Papa	Papa
Cebada (3 variedades)	Cebada (3 variedades)		Avena	Avena
Trigo (2 variedades)	Trigo (4 variedades)		Oca	Oca
Oca (+ 10 variedades)	Oca (20 variedades)			Papa
Papaliza (3 variedades)	Papaliza (4 variedades)			Oca
-----	Haba (2 variedades)	Zona Baja	Papa	Cebada
Quinua (2 variedades)	Quinua (2 variedades)	(Sayaña)	Quinua	Tarwi
Avena (2 variedades)	Avena (3 variedades)		Cebada	Arveja
				Izaño
				Papaliza

Tabla 2. Principales plagas y enfermedades en Chiru K'asa (Norte Potosí)

Cultivos	Ahora	Antes
Papa	PiquiPiqui	No había
	Llaja	No había
	Incremento del Tizón	Había poco
Trigo	Yuraj Kuru	Había poco
	Sursu	Había poco
Cebada	KiruKuru	No había

Tabla 3. Calendario Agrícola

Cultivos	Tiempo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Papa Aynuq'a	Antes			30 de agosto Fiesta Santa Rosa inicio de siembra	8 de septiembre Fiesta de Natividad			Aporque con la presencia de lluvias una sola vez					Cosecha antes no habia gusanos
	Ahora					Siembra		Primer y segundo aporque		Maduración flor			Cosecha, ahora estan apareciendo
Papa Sayaña	Antes					Siembra					Cosecha por ataque de pocos gorgojos		
	Ahora					Siembra					Cosecha, porque existe muchos	Cosecha por gorgojos	
Oca aynuq'a	Antes				Siembra							Cosecha	
	Ahora				siembran entre 8 a 14 de septiembre								Cosecha
Quinua sayaña	Antes	Cosecha de quinua, pero bienen quinua			Siembran a partir de 8 de septiembre							Continua hasta junio para la cosecha	
	Ahora				Siembra								
Cebada	Antes				Siembran a partir de 8 de septiembre							Cosecha	
	Ahora	Continua la cosecha.			Siembra								Inicia la cosecha

Ahora
 Antes

Tabla 4. Indicadores naturales para predecir el clima

Indicador	Qué predice?
En la Muña cuando hay flor	Buen rendimiento de papa
En el durazno cuando hay flor	Buen rendimiento de papa
Musgos en las piedras	Año seco o con mucha lluvia
Viento en agosto	Va a llover

Tabla 5. Matriz de vulnerabilidades

Medios de Vida	HELADA	SEQUIA	GRANIZO	GORGOJO	FACIOLA HEPATICA
Cultivos: papa, cañahua y forrajes	☹️	☹️	☹️	☹️	😊
Ganado: Vaca, ovejas	☹️	☹️	☹️	😊	☹️
Alimentación familiar	☹️	☹️	☹️	☹️	☹️
Ingresos económicos	☹️	☹️	☹️	☹️	☹️

Leyenda

1	No afecta	😊
2	Afecta poco	☹️
3	Afecta Mucho	☹️

Figura 1. Mapas parlantes para percepción de riesgos climáticos

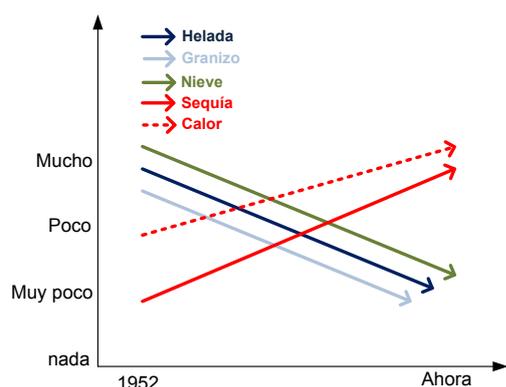


a) Identificación de 9 aynoq'as en la comunidad Coromata Media b) Identificación de amenazas



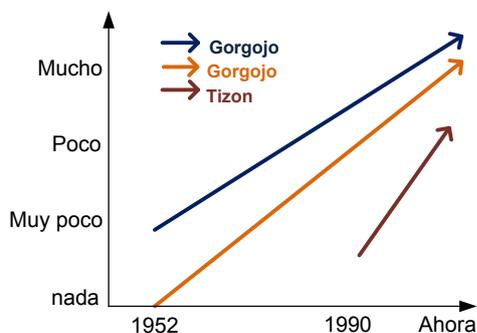
c) Amenazas identificadas sobre los sistemas agrícolas

Figura 2. Cambios en el clima en el tiempo según percepción



Leyenda	Descripción
	Antes helaba en carnaval, virgen de candelaria y Tilapasa (fecha festiva) y hiel fuerte por eso producía variedades lukis, ajawiris, choquepito, berenjelas y kaisalla y ahora siembran quenis y más papa imilla y la helada muy variable.
	Respecto al chuño, antes se hacía de 2 a 3 días por qué helaba fuerte, ahora ya no hiel como antes y tardas más en hacer chuño.
	Antes había mucho granizo, pero ahora es muy poco
	Antes de Mayo a junio en las festividades de Espíritu, San Juan llegaba hasta 50 cm de nieve, y ahora ya no se presenta mucho y solo se presenta en las partes altas.
	Antes había mayor humedad, mayor neblina y nubes por lo que había muy poca sequía y ahora hay pocas nubes, el cielo despejado y hay menos lluvias que antes.
	En el tema de calor antes indican que la pollera (falda de las mujeres) secaba hasta la tarde, pero ahora seca hasta el medio día, esto porque hace más calor ahora.

Figura 31. Plagas y enfermedades en el tiempo según percepción de los agricultores de Cariquina Grande (La Paz)



Leyenda	Descripción
	En el cultivo de papa indicaron que solo apareció en kenis y no en lukis. Los agricultores indican que ahora existe mayor incidencia del gusano. En el año 1930 una persona indica lo siguiente: “Cuando era niña no había el gusano según su papá”
	En el cultivo de Oca mencionan que antes no había nada y ahora está apareciendo mucho el gusano. También indican que el gusano está subiendo hacia las partes altas donde ya se observó en la comunidad de Wila Kala.
	Según los agricultores el tizón apreció desde los 90 y ahora existe poco, pero es según el año, y atribuyen a la evaporación por el aumento de temperatura.

Elaboración de mapas de riesgo como instrumentos para la gestión de riesgos en comunidades altoandinas

Mirko Delfin, Milton Pinto, Víctor Iriarte, Eliseo Mamani, Bruno Condori, Fernando Patiño, Rhimer Gonzales²

Compendio

Los mapas de riesgo de sequía y heladas elaborados para el municipio de Colomi (Cochabamba) muestran que las zonas de mayor riesgo son las zonas altas. Un 15% de la superficie del Municipio tiene una categoría alta de riesgo, la mayor parte centrada en la zona de puna, y un 31.9% con categoría moderada y concentrada especialmente en la parte del subtrópico, donde si bien existe cobertura, las condiciones de amenaza de temperatura y precipitación hacen que la zona sea propensa a un riesgo moderado de sequía. El riesgo de helada es mayor en la zona de Colomi, donde las categorías muy alta y alta que suman 30.2% de la superficie del Municipio se hallan en la zona de puna.

En Cariquina Grande (La Paz) los resultados del estudio mostraron que la alta humedad disminuye el riesgo de helada hasta el mes de marzo, pero en abril empiezan las heladas invernales. Respecto a la sequía, es un riesgo especialmente en la zona llamada Jutilaya, por su poca cobertura y baja precipitación. Los mapas de riesgos confirmaron que las zonas con sequía corresponden a más del 50% en relación al total de área.

Los mapas de riesgo son referenciales y se debe hacer el esfuerzo de validarlos en campo para ser utilizados como instrumentos para apoyar en la planificación para la gestión de riesgos.

Introducción

De acuerdo a la FAO (2007), la Gestión de Riesgos es un proceso que incluye las siguientes etapas: a) la identificación de las zonas, las poblaciones y los medios de subsistencia en riesgo, b) un análisis de los tipos de riesgo involucrados y, c) una estimación de los niveles de exposición al riesgo de las diferentes zonas, grupos y medios de subsistencia en términos de magnitud, grado del riesgo y de la capacidad de neutralización del mismo.

En el caso específico de la etapa de Análisis de Riesgo debe tenerse claro algunos elementos como la amenaza y la vulnerabilidad, los cuales se definen a continuación según Guevara Ortiz *et al.* (2006):

- Amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un evento o fenómeno perturbador en un determinado sitio o región, sobre sistemas constituidos por personas, comunidades y/o sus bienes.
- Vulnerabilidad es la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador.

El análisis de riesgos puede realizarse mediante métodos estadísticos y empíricos (Wachholtz y Herold-Mergl, 2004) respaldado por información espacial procesada a través de SIGs, los cuales tienen la capacidad para realizar un análisis espacial de datos, es decir, transformaciones, operaciones y métodos que se aplican a los datos geográficos para añadirles un valor asociado (Zepeda Ramos *et al.*, 2006) y cuyos resultados se visualizan a través de mapas. Debido a esta característica, este último proceso se conoce como Mapeo o Cartografía de Riesgos, definido como el proceso de elaboración de representaciones gráficas (en una base cartográfica) de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, su periodo de retorno e intensidad, así como la manera en que impacta en los sistemas afectables, principalmente caracterizados por la actividad humana (población, vivienda, infraestructura y agricultura) (Zepeda Ramos *et al.*, 2006; Lowry *et al.*, 1995).

Entre los años 2011 y 2012, PROINPA elaboró mapas de riesgo para sequía y heladas para el Municipio de Colomi (Provincia Chapare, Departamento de Cochabamba), ambos considerados como factores limitantes en la producción de cultivos de importancia económica en la zona tales como la papa y otros (gramíneas y frutales). Paralelamente se realizó un análisis de riesgos a través de la aplicación del método empírico de Valoración Relativa Espacial (MVR), el cual consiste en una valoración subjetiva de las amenazas y la vulnerabilidad con diferentes grados de probabilidad, desde “no existente” hasta “muy alta”, y cuya aplicabilidad es recomendable en casos con poca disponibilidad de información relevante y donde el enfoque está en la generación de información sobre la ubicación y extensión de los riesgos (análisis espacial) (Proyecto DIPECHO, 2008).

² Investigadores Area Temática Agrobiodiversidad Fundación PROINPA

Materiales y Métodos

Los pasos principales del MVR según Wachholtz y Herold-Mergl (2004) son:

1. Determinación de los factores de amenaza y vulnerabilidad

En este primer paso se eligen los factores relevantes que precisan una amenaza y la vulnerabilidad física a dicha amenaza. En el caso del Municipio de Colomi, para las amenazas de helada y sequía, se seleccionaron los factores altitud, precipitación y temperatura, cuyos datos fueron obtenidos del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia (<http://essm.tamu.edu/bolivia/>) y el Global Climate Data (<http://www.worldclim.org>) en forma gratuita, y en base a los cuales se elaboró un mapa altitudinal, mapa de pendientes, mapa de isoyetas (puntos con valores similares de precipitación) e isotermas (puntos con valores similares de temperatura máxima y mínima). Para el mapa de vulnerabilidad se elaboró un mapa de uso de suelo a partir de una imagen Landsat TM del año 2011, mediante el método de clasificación no supervisada³ con 24 clases de agrupamiento en el software ERDAS Imagine (<http://geospatial.intergraph.com/products/ERDASIMAGINE/>) (Fig. 1).

2. Homogenización de la información

Se homogenizó el tamaño y ubicación geográfica de la cuadrícula de las diferentes categorías de información detalladas en el paso anterior (disponibles en formato raster⁴), de modo que pueda relacionarse toda la información disponible y hacer una evaluación integral de la misma. El tamaño de cuadrícula seleccionado para este trabajo, fue de 30x30 m.

3. Determinación de un sistema de valoración y agregación de los valores

En este paso los valores relativos de cada factor se establecen subjetivamente según el peso del factor dentro del conjunto de factores. Mientras más alto sea el valor, más fuerte es la influencia de un factor para la probabilidad relativa de ocurrencia de una sequía o helada.

Para este estudio se asignó a cada nivel de información una ponderación de 1 a 5 (1 = Sin riesgo, 2 = Riesgo bajo, 3 = Riesgo moderado, 4 = Riesgo alto y 5 = Riesgo muy alto).

4. Vinculación de la información para determinar el riesgo

En el análisis de riesgo se vinculan los valores relativos por cuadrícula de la amenaza y de la vulnerabilidad física para definir el riesgo de pérdidas por esta amenaza (Fig. 2). De esta manera, el mapa de riesgo representa la distribución espacial (ubicación y extensión) de diferentes grados de probabilidad de impactos potenciales de la amenaza, de acuerdo con el grado de la vulnerabilidad.

Resultados y Discusión

La aplicación de SIGs y el método MVR permitió obtener por un lado un mapa de riesgos de sequía (Fig. 3) según el cual existen cuatro clases de riesgo, que van desde el valor 1 (Sin riesgo) a 4 (Riesgo alto), en el Municipio de Colomi. El análisis no identificó áreas con Muy alto riesgo en la zona, esto debido posiblemente, a las condiciones de precipitación y a los tipos de suelo predominantes en la zona.

En la tabla 1 se detallan los datos de superficie según las clases de riesgo definidas anteriormente. Del área total del Municipio de Colomi (60.62 ha), un 15% presenta un Riesgo alto de sequía mientras que un 31.9% presenta Riesgo moderado. Este último valor está asociado posiblemente al tipo de suelo con cobertura de vegetación densa.

Respecto al mapa de riesgos de helada (Fig. 4) se identificaron las cinco clases de riesgo con valores de 1 a 5. En términos de superficie del Municipio de Colomi, un 10.7% se encuentra en Riesgo muy alto, un 19.5% en Riesgo alto y 38% en Riesgo moderado (Tabla 2).

En el área de Riesgo alto, se encuentran zonas de cultivo comprendidas entre las comunidades de Candelaria y San Isidro correspondiente a la zona de Puna del Municipio de Colomi.

³ La clasificación es el proceso de agrupar los píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos con base en sus niveles digitales. La **clasificación no supervisada** permite realizar este proceso de manera automática, de modo que el usuario especifica parámetros que el computador usa para revelar patrones estadísticos que son inherentes a los datos (ERDAS, 2001).

⁴ En el formato raster se divide el espacio en un conjunto regular de celdillas, cada una de las cuales contiene un número que puede ser el identificador de un objeto (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable) (Alonso Sarria, 2004).

Los resultados en el mapa de riesgo de sequía (Fig. 5) para la comunidad de Cariquina Grande de La Paz muestran un porcentaje entre moderado alto que es del 49 % aproximadamente, lo cual es muy significativo el riesgo de sequía en la zona, esto debido a que es una zona con poca cobertura y poca disponibilidad de agua (Tabla 3).

En la Tabla 4 y Figura 6 se pueden observar las categorías y el mapa de riesgo de helada para Cariquina Grande, existe un porcentaje entre alto y extremo que es del 9 % aproximadamente seguido de un riesgo moderado con 47 % lo cual es significativo. En la zona aparentemente el riesgo de helada no es tan relevante como la sequía, debido a que es una zona con una humedad relativa alta lo cual amortigua el riesgo de helada.

Conclusiones

El Método de Valoración Relativa Espacial, es una metodología práctica, pero a la vez subjetiva, ya que estos análisis varían de acuerdo a la percepción de los operadores que realizan estos análisis, es importante que estos análisis se realicen con la participación de personas que conocen las zonas de estudio. Los análisis de la obtención de los mapas de riesgos desarrollados para las comunidades bajo estudio, fueron realistas, y pueden ser de gran ayuda como instrumento de planificación para estas zonas.

Referencias

- FAO. 2007. Cambio Climático y Seguridad Alimentaria: Un Documento Marco. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma (Italia). 21 p.
- Guevara Ortiz, Quaa, R.; Fernandez, G. 2006. Lineamientos generales para la elaboración de Atlas de Riesgos. In Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Sistema Nacional de Protección Civil – Centro Nacional de Prevención de Desastres. Mexico. p. 13-24
- Lowry, J.H.; Miller, H.J. y Hepner, G.F. (1995): "A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/US border" en Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 61, nº 11, pp. 1347-1359
- Proyecto DIPECHO. 2008. Diagnostico de riesgos en el Municipio de Vinto. Cochabamba (Bolivia). p. 7-53
- Wachholtz, R.; Herold-Merg, A. 2004. Contribución al análisis de riesgo de desastres en la Cuenca Alta del Río San Pedro. PGR SAP – GTZ. La Paz (Bolivia). 99 p.
- Zepeda Ramos, O.; Muñoz, E.; Torres, L. 2006. Aspectos geográficos y tecnológicos. In Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Sistema Nacional de Protección Civil – Centro Nacional de Prevención de Desastres. Mexico. p. 27-65.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Figura 1. a) Mapa altitudinal (zona subtrópico 2215 a 1462 msnm, zona puna 2864 a 4500 msnm), b) Mapa de pendientes (en la puna con 45° como la mayor pendiente identificada) c) Mapa de isotermas (temperaturas máxima de 19°C en puna y 26°C en subtrópico), d) Mapa de isotermas (temperaturas mínima de 2°C en puna y 8°C en subtrópico), e) Mapa de isoyetas (puna hasta 750 mm precipitación acumulada promedio anual, subtrópico hasta 1571 mm) y f) Mapa de vulnerabilidad: uso de suelos del Municipio de Colomi (5 tipos identificados: afloramiento rocoso/lagunas, cultivos, pasturas, suelos en descanso y vegetación densa).

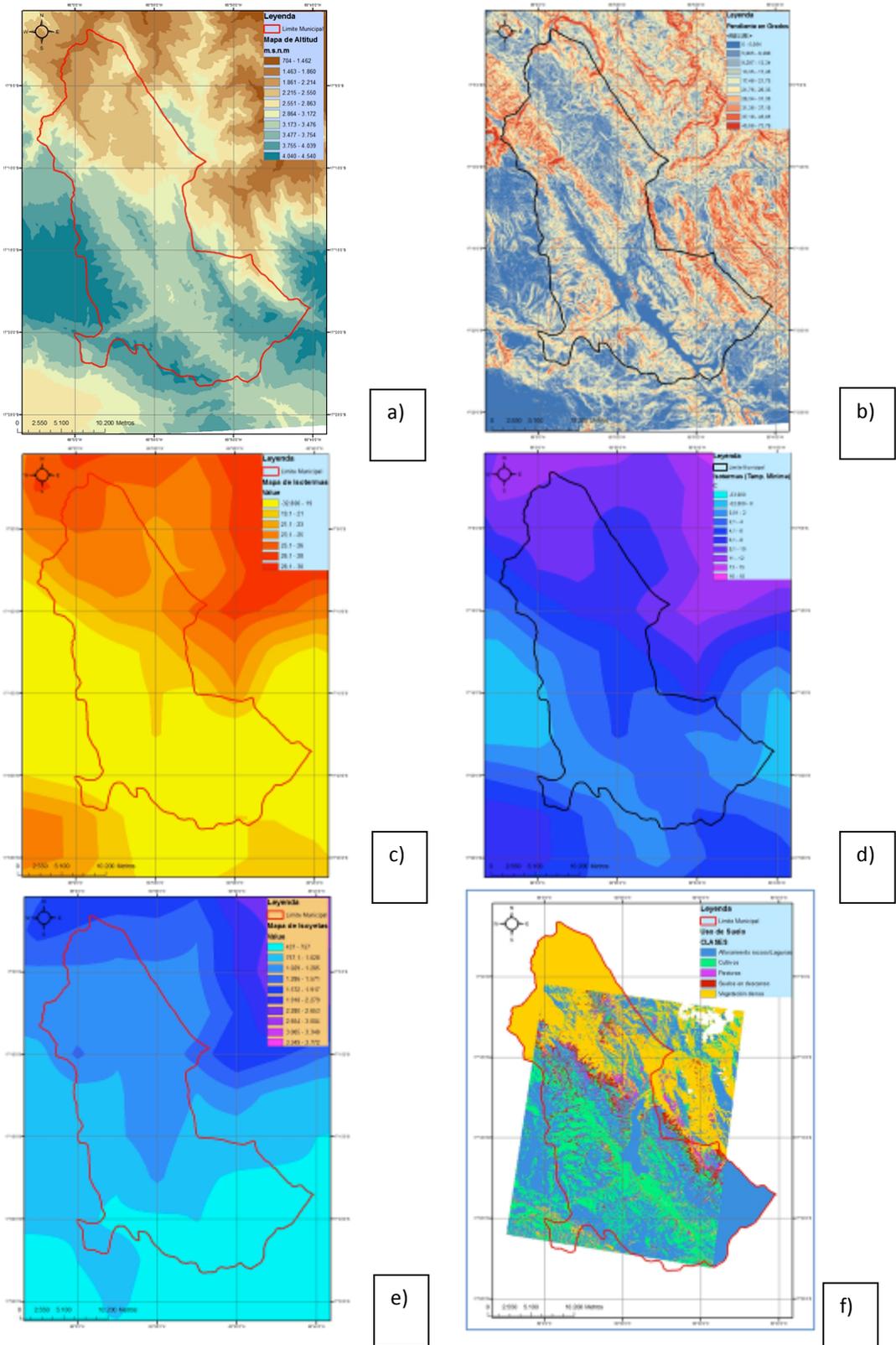


Figura 2. Representación gráfica de la vinculación de amenaza y vulnerabilidad física

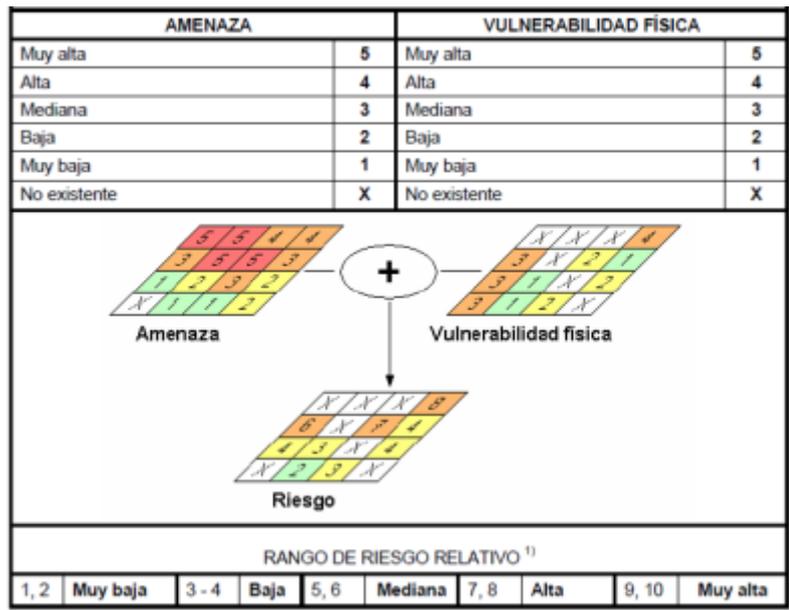


Figura 3. Mapa de riesgo de sequía del Municipio de Colomi

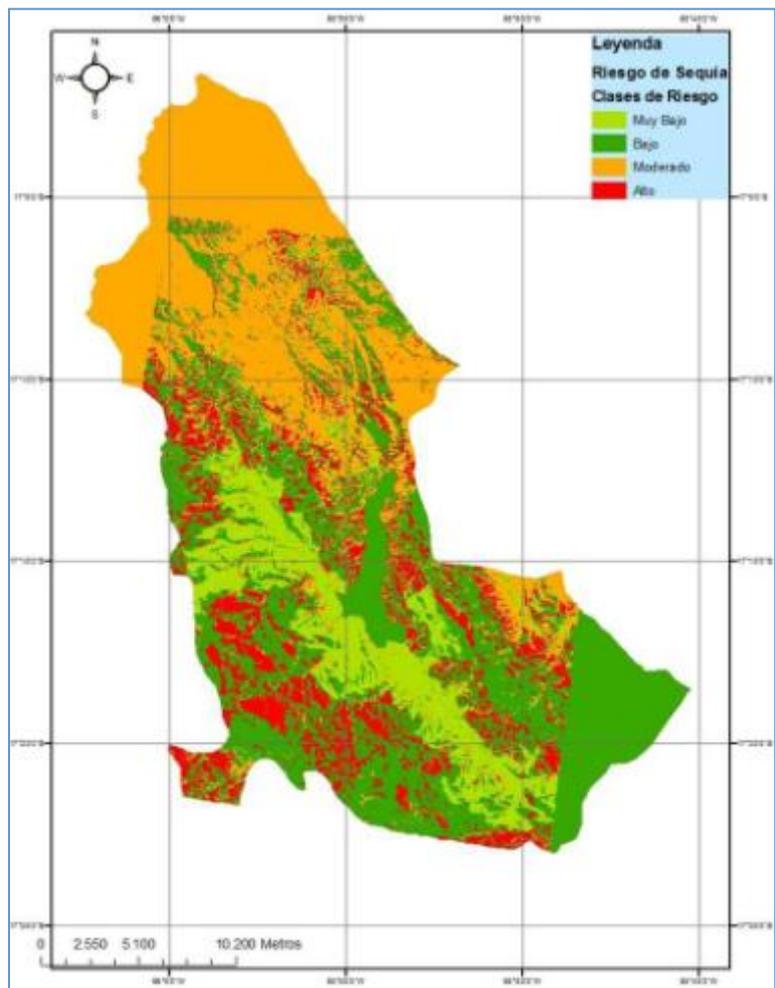


Figura 4. Mapa de riesgo de helada del Municipio de Colomi

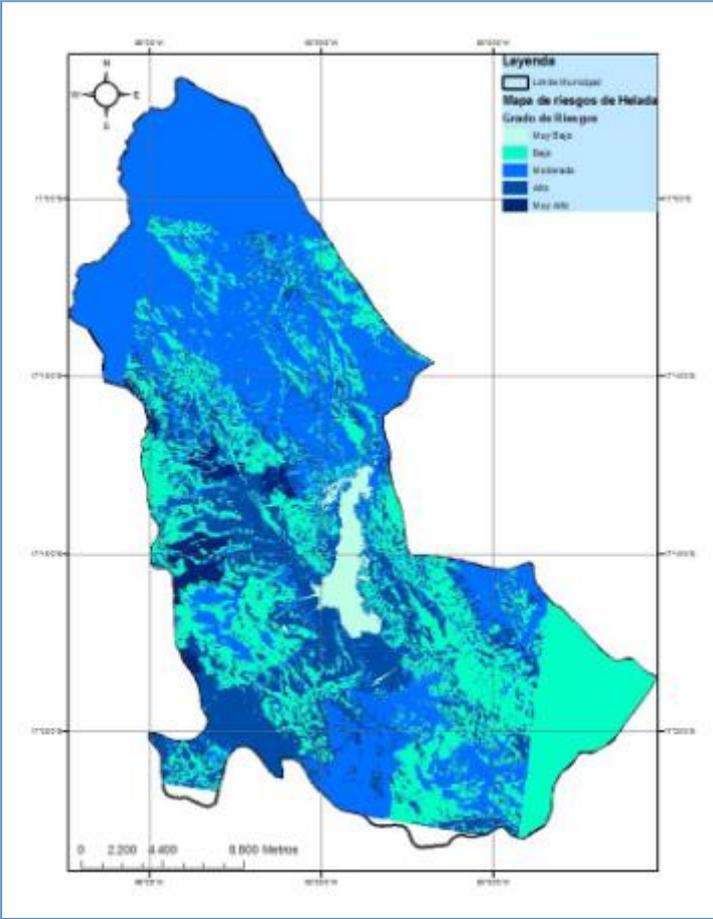


Figura 5. Mapa de Riesgo de Sequía para la zona de Cariquina Grande

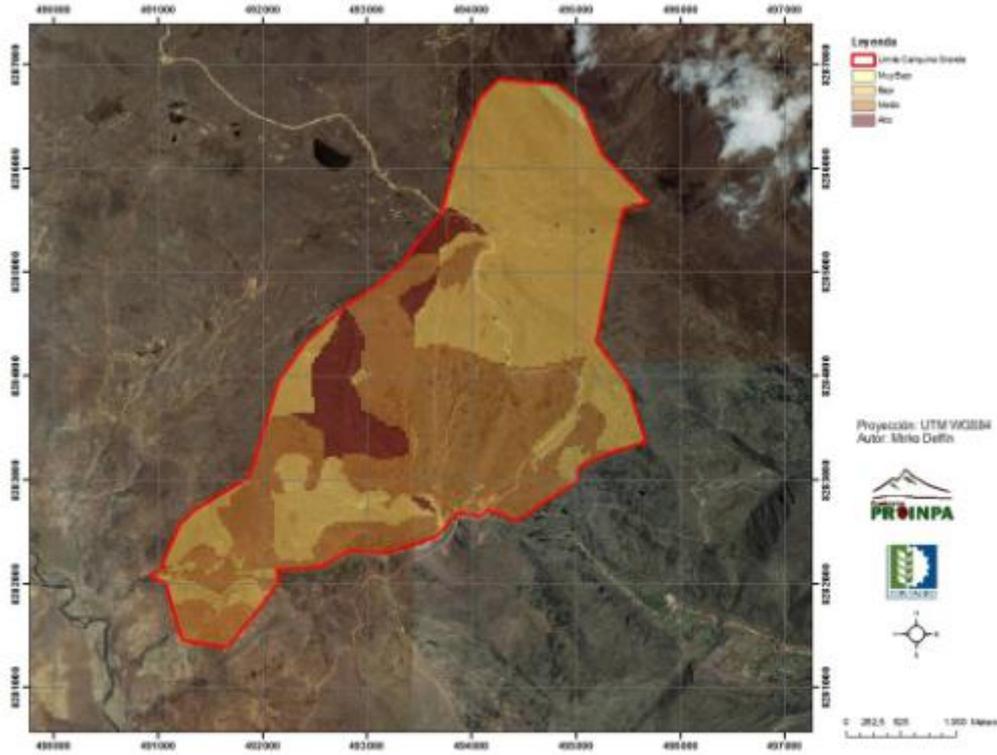


Figura 6. Mapa de Riesgo de Helada para la Comunidad de Cariquina Grande

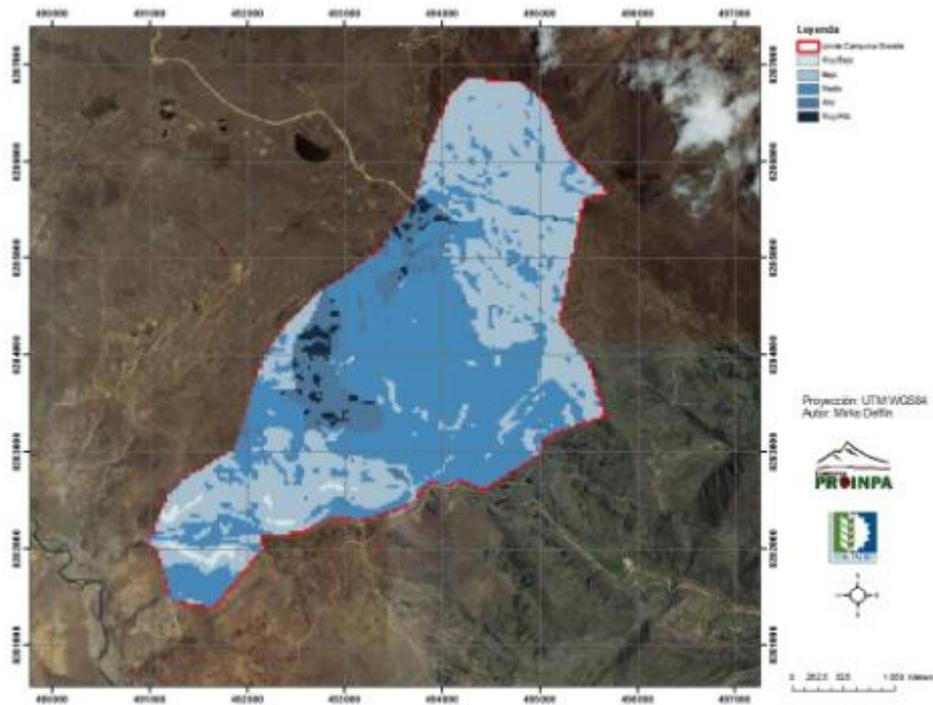


Tabla 1. Superficies de suelo según categoría de riesgo de sequía en el Municipio de Colomi

Categoría	Área	
	(ha)	(%)
1. Sin riesgo	8.4	14
2. Bajo	23.8	39
3. Moderado	19.3	32
4. Alto	9.1	15
5. Muy alto	0	0
Total	60.6	100

Tabla 2. Superficies de suelo según categoría de riesgo de helada en el Municipio de Colomi

Categoría	Área	
	(ha)	(%)
1. Sin riesgo	1.4	2
2. Bajo	17.8	29
3. Moderado	23.1	38
4. Alto	11.8	20
5. Muy alto	6.5	11
Total	60.6	100

Tabla 3. Categorías de riesgo de sequía en Cariquina Grande

Categoría	Área	
	(ha)	(%)
1. Muy bajo	7,97	0,68
2. Bajo	579,69	49,80
3. Moderado	482,57	41,46
4. Alto	93,77	8,06
Total	1164	100

Tabla 4. Categorías de riesgo de helada en Cariquina Grande

Categoría	Área	
	(ha)	(%)
1. Muy bajo	12,17	1,06
2. Bajo	500,48	43,73
3. Moderado	546,42	47,74
4. Alto	85,53	7,47
5. Extremo	18,81	1,64
Total	1145	100

Análisis participativo de los riesgos que enfrenta el sistema productivo de papa nativa en la comunidad de Paltarumi del Perú

Rita Carolina Girón⁵, Tatiana Farfan de la Vega⁶, Emerson Salinas⁷

Compendio

El estudio fue efectuado en diferentes parcelas de la comunidad de Paltarumi-Perú, donde no existe un historial climático y fue preciso la construcción participativa de las amenazas y vulnerabilidades climáticas para la elaboración de mapas temáticos que servirán para la construcción de los planes de mitigación de amenazas a los sistemas productivos de papa. Se realizaron dos tipos de evaluación de riesgo de papas a amenazas climáticas y patogénicas derivadas del cambio climático, la primera fue realizada por los productores de la comunidad denominada “Evaluación participativa local del riesgo de papas nativas a amenazas climáticas y patogénicas derivadas del Cambio Climático”, en esta evaluación se consideró el grado percibido de amenaza térmica y pluvial, así como el grado percibido de vulnerabilidad de los cultivos de papas y tuberosas nativas. En la segunda “Evaluación sistémico – técnica del riesgo de papas nativas y blancas a amenazas climáticas derivadas del cambio climático” se evaluó el grado de amenaza térmica e hídrica a las papas. En base a estas evaluaciones se obtuvo un mapa satelital de la comunidad de Paltarumi con las diferentes zonas de producción y el grado de peligro o vulnerabilidad que presentan éstas, frente a los factores climáticos extremos. También se pudo inferir de acuerdo a la información técnica y los escenarios previstos por el IPCC al 2030, una disminución drástica de las lluvias, además de la desglaciación total del nevado del Huaytapallana que en definitiva va a modificar el ambiente en la zona de estudio.

Introducción

Podemos iniciar este análisis mencionando que el concepto de amenaza, la encontramos en la literatura científica o técnica en conjunto con otros dos conceptos relacionados y que frecuentemente se emplean equivocadamente como sinónimos, estos son los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Estos tres conceptos tienen en común el de pertenecer a términos axiológicos, es decir son conceptos relacionales que denotan una valuación o evaluación de un suceso o proceso determinado por una unidad social evaluadora. Por lo tanto son valores, específicamente disvalores, que unidades sociales asignan a determinados sucesos en algún aspecto bajo alguna circunstancia y en base a algún cuerpo de conocimiento. Así, estas conceptos valorativos siempre se expresan en relación a un sistema evaluativo de referencia que lo podemos expresar como XYRUCKD, donde estos símbolos denotan: la amenaza que genera un evento X a un sistema Y en el aspecto para una unidad social evaluadora U en determinada circunstancia C bajo un cuerpo de conocimiento K teniendo como objetivo o deseo O (Bunge, 1996). Este sistema evaluativo de referencia varía ligeramente para el caso de la vulnerabilidad, siendo que YXRUCKD denota que se es vulnerable a la amenaza generada por el evento X con el sistema de referencia PUCKO. Adicionalmente a la vinculación de los conceptos de amenaza/peligro y vulnerabilidad a un sistema de referencia PUCKO también existe co-dependencia entre estos sucesos o procesos y por lo tanto entre sus respectivas valuaciones, ósea existe convolución. (Cardona, 2001) Es importante mencionar que la convolución es un concepto que se refiere a la concomitancia y mutuo condicionamiento, en este caso, de los eventos amenazantes y las propensiones de los sistemas vulnerables. Así, al intervenir uno o los dos componentes del riesgo se está interviniendo el riesgo mismo. Sin embargo, dado que en muchos casos no es posible intervenir la amenaza, para reducir el riesgo no queda otra alternativa que modificar las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos. Esta es la razón por la cual con mucha frecuencia en la literatura técnica se hace énfasis en el estudio de la vulnerabilidad y en la necesidad de reducirla mediante medidas de prevención-adaptación, sin embargo lo que realmente se intenta de esta manera es la reducción del riesgo (Cardona, 2001).

Prosiguiendo con la dilucidación de los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, podemos centrar en: *que es la “amenaza”, que es la “vulnerabilidad” y que es el “riesgo”*. En primer término no debemos confundir la amenaza con el acontecimiento (suceso o proceso) que genera esta evaluación por parte de una unidad social, por tanto emplearemos el término “evento amenazante” para definir al acontecimiento ya sea biofísico, social o socionatural que genera la perturbación o cambio en el objeto de evaluación, y emplearemos el término “amenaza” a la valuación realizada del evento o acontecimiento amenazante o peligroso.

⁵ Investigadora y Responsable del proyecto en el INIA-Perú

⁶ Especialista en Planes de Adaptación y Mitigación

⁷ Consultor especialista en digitalización de mapas

Por lo tanto “evento amenazante” es un suceso o un proceso (físico, biótico, social o socionatural) que bajo ciertas condiciones, es decir cuando estos cambios de estado alcanzan un determinado valor generan cambios en un determinado sistema importante (físico, biótico o social) para una unidad social, estos cambios son de carácter perjudicial o negativo para la unidad social que está evaluando esta concatenación de hechos. Entonces está claro que el evento amenazante no es una cosa (sistema), ni una propiedad, ni un estado sino es un tipo específico de cambio de estado de un sistema que genera otro cambio de estado en otro sistema. Este evento amenazante siempre es externo al sistema o componente considerado importante u objeto de referencia que para el caso de este estudio es considerado un objeto de conservación. Por lo tanto los eventos amenazantes mantienen esta condición solo con el objeto de referencia al cual están relacionados en la evaluación, si el objeto de referencia varía también cambia la condición de amenaza del evento, por lo que no necesariamente el mismo evento puede representar una amenaza para distintos objetos de conservación. Esto nos permite afirmar que la amenaza que representan ciertos eventos generalmente es específica para un sistema, aunque existen algunos eventos que pueden representar amenaza para varios sistemas. Por otra parte “vulnerabilidad” la podemos definir como una propensión, es decir la tendencia del sistema u objeto de referencia de pasar de un estado o colección de estados “normales” a otro estado o colección de estados “anómalos” como resultado de la acción de un evento externo al sistema, por lo que la vulnerabilidad de un sistema es una propiedad sistémica interna que está vinculada al ambiente o entorno del sistema, que en este caso son los potenciales eventos amenazantes. Podemos adicionar que la vulnerabilidad de un sistema será específica a un determinado evento amenazante, así, si varía el evento varía también la vulnerabilidad, pudiendo ser un sistema vulnerable a varios eventos pero no necesariamente en el mismo grado, por lo que es importante cuantificar los grados de vulnerabilidad de un sistema.

Por último con respecto al concepto de “riesgo” podemos mencionar que este término se refiere a una probabilidad, de que un sistema (considerado importante por una unidad social) resulte afectada en cierto grado por un determinado evento con cierta intensidad o intervalo de intensidades, es decir que el “riesgo” es el impacto potencial que puede sufrir el sistema de referencia como resultado de la acción de un evento amenazante o colección de estos con ciertas características. Como podemos notar el concepto de riesgo es el más apropiado para evaluar el impacto potencial que sufrirían los objetos de conservación del Proyecto In Situ, ya que el concepto de riesgo resume la evaluación de los eventos amenazantes (amenazas) y la evaluación de las propensiones del objeto de conservación (vulnerabilidades), es decir considera no solo los factores externos sino también los factores internos que determinan que un objeto de conservación resulte impactado perjudicialmente por ciertos eventos externos a él.

En resumen, la condición de amenaza de un evento es relativa a cierto sistema; así como la condición de vulnerabilidad de un sistema es relativa a cierto evento amenazante y por lo tanto el riesgo de un sistema estará determinado por todos los eventos amenazantes y las vulnerabilidades que presenta este sistema a ellos.

Hasta aquí se ha realizado un análisis unitario de eventos amenazantes y vulnerabilidades, pero para tener una aproximación sistémica de estos procesos se hace necesario esbozar un modelo que refleje todas las entradas, estados internos y perspectivas implicadas en esta evaluación, que como podemos notar es compleja pero no imposible.

Bajo este marco conceptual, se planteó el presente estudio efectuado en diferentes parcelas de la comunidad de Paltarumi-Perú, donde no existe un historial climático y fue preciso la construcción de esta herramienta para la elaboración de mapas temáticos que servirán para la construcción de los planes de mitigación de amenazas a los sistemas productivos de papa. Los objetivos propuestos fueron:

- Entender y conocer las amenazas y vulnerabilidades ocurridas en los últimos 30 años desde la percepción de los agricultores de la comunidad de Paltarumi.
- Facilitar el proceso de recordatorio y ubicación de las amenazas ocurridas en los últimos 30 años.
- Sensibilizar a la comunidad para la gestión del riesgo.

Metodología

La metodología empleada fue la “Construcción de escenarios climáticos para generar desarrollo comunal”. Esta metodología está basada en el recuerdo de los eventos climáticos en los últimos 30 años de los comuneros, cuya información nos permitirá hacer un mapa temático sobre los riesgos actuales y futuros; herramienta importante para la toma de decisiones a nivel comunal que permita la continuidad del sistema productivo de papa nativa.

La metodología agrupa tres pasos importantes:

- Registro previo de la información climática de las personas mayores de 40 años que permita cuantificar la percepción climática.
- Ubicación de las amenazas y vulnerabilidades del sistema productivo de papa nativa, que se realizará a través de mapas parlantes.
- Sistematización de la información; la que se realizó por un especialista en SIG quien analizó el mapa de percepción climática campesina frente al mapa de simulación puesto que en la zona no se cuenta con historial climático, así mismo realizó los mapas de escenarios futuros los cuales servirán de herramienta importante para la gestión de riegos a nivel comunal.

Resultados y Discusión

Se realizaron 2 tipos de evaluación de riesgo de papas nativas y blancas (mejoradas) a amenazas climáticas y patogénicas derivadas del cambio climático, la primera fue realizada por los productores de la comunidad de Paltarumi, a esta evaluación se le denominó **“Evaluación participativa local del riesgo de papas nativas a amenazas climáticas y patogénicas derivadas del Cambio Climático”**, en esta evaluación se consideró el grado percibido de amenaza térmica y pluvial, así como el grado percibido de vulnerabilidad de los cultivos de papas y tuberosas nativas, el grado percibido por los productores locales se evaluó en base a una escala que va de 0 a 1 donde el valor 0 representa peligro nulo o nula vulnerabilidad y 1 representa muy peligroso o extremadamente vulnerable, también se espacializó la distribución de la amenaza y la vulnerabilidad en base a mapas parlantes, los cuales fueron digitalizados en un base de datos SIG y representados en un mapa respectivo.

En lo que respecta a la evaluación local participativa de peligros derivados del cambio climático a papa, el peligro o amenaza más alto frente a heladas se dio en la parcela de Jallumpata (papas nativas) con un valor 0.90 (muy peligroso), la amenaza frente a plagas y ranca (*Phytophthora infestans*) presento un valor máximo de 0.8 (peligroso) en las parcelas de Talhuish y Jatunchau (papa blanca), el peligro máximo frente a ranca se dio en la parcela de Suitopampa (papas nativas) con un valor de 0.6 (regularmente peligroso), la amenaza frente a las sequías se dio en la parcela de Moya (papa blanca) con un valor de 0.63 (peligroso).

En cuanto a la vulnerabilidad de los cultivos instalados dentro de las parcelas resulto que la papa nativa Chaccro (Mezcla) presento mayor vulnerabilidad frente a heladas con un valor de 1.00 (extremadamente vulnerable) en las parcelas de Quimsacocha, Paradero, Eluyo, Jallumpata y Cuchihuasi, la vulnerabilidad frente a plagas y ranca se dio en cultivos de papa blanca con un valor de 0.74 (muy vulnerable) en las parcelas de Pahal, Talhuish y Hatunchau, las papas nativas amargas presentaron mayor vulnerabilidad frente a la ranca con un valor de 1.00 (extremadamente vulnerables) en las parcelas de Patococha, Illaycocha y Suitopampa, finalmente la vulnerabilidad frente a sequías presento su valor máximo de 1.00 (extremadamente vulnerable) en la parcela de Moya donde se cultiva de papa blanca.

En la **“Evaluación sistémico – técnica del riesgo de papas nativas y blancas a amenazas climáticas derivadas del cambio climático”** se evaluó el grado de amenaza térmica e hídrica a las papas nativas y blancas representadas mediante una escala que va de 0 a 1, en la cual el valor 0 representa nulo peligro y 1 representa muy peligroso, índices obtenidos en base a los rangos de tolerancia térmica de las papas nativas y blancas; y en base a los rangos de disponibilidad hídrica provistas por la precipitación pluvial en las zonas de estudio. La vulnerabilidad multidimensional de los cultivos (edáfica, tecnobiótica y técnica) no pudo ser evaluada en su amplitud por no contarse con la información suficiente, y nos restringimos a evaluar la vulnerabilidad edáfica en base a indicadores de pendiente, profundidad de suelo, textura, % de materia orgánica y pedregosidad.

En lo referido a la evaluación sistémico – técnica de la amenaza térmica derivada del cambio climático a parcelas de blancas se observa que en las parcelas de Moya, Challayaw, Pahal, Talhuish, Hatunchau y Balcon presentan un valor máximo de 0.1 indicando una amenaza térmica muy baja en estas parcelas, respecto a las papas nativas el mayor índice de amenaza térmica se dio en la parcela de Cuchihuasi con un valor de 0.3, considerada una amenaza térmica baja.

La evaluación sistémico – técnica de la amenaza térmica derivada del cambio climático a parcelas de papa blanca muestra que las parcelas de Pahal, Talhuish, Hatunchau y Balcon, tienen un valor máximo de amenaza hídrica de 0.7 (amenaza hídrica alta), la amenaza hídrica máxima en papas nativas se dio en las parcelas de Patococha, Illaycocha, Suitopampa, Jallumpata, Choquis y Cuchihuasi con un valor de 0.6 (amenaza hídrica media)

La evaluación sistémico – técnica de la vulnerabilidad edáfica derivada del cambio climático a parcelas de papa blanca muestra que las parcelas de Talhuish, Hatunchau y Balcon presenta un índice de vulnerabilidad máximo de 0.82 (vulnerabilidad extrema), la vulnerabilidad edáfica en papas nativas presento su índice máximo en las parcelas de Jatumpata y Paradero con un valor de 0.60 (vulnerabilidad media).

En lo referido a la evaluación sistémico – técnica del riesgo tecnobiótico de parcelas de papa blanca a amenazas térmicas e hídricas derivadas del cambio climático, resulto que la parcela de Balcon presenta un índice máximo de riesgo de 0.55 (riesgo medio), así mismo el índice de riesgo tecnobiótico en parcelas de papas nativas presento su valor máximo de 0.50 (riesgo medio) en las parcelas de Cuchihuasi, Jallumpata y Patococha.

En la Figura 1, se muestra el mapa satelital de la comunidad de Paltarumi con las diferentes zonas de producción y el grado de peligro o vulnerabilidad que presentan éstas, frente a los factores climáticos extremos, de acuerdo con las evaluaciones realizadas y utilizando la matriz de índices realizado con la percepción de los agricultores en el taller.

En la Figura 2, podemos inferir que de acuerdo a la información técnica y los escenarios previstos por el IPCC al 2030, se proyecta una disminución drástica de las lluvias, además de la desglaciación total del nevado del Huaytapallana que en definitiva va a modificar el ambiente en la zona de estudio.

Conclusiones

A través de la percepción de los agricultores se realizó un mapa de vulnerabilidad actual de los cultivos de papa por zonas de producción y con información técnica científica también se obtuvieron mapas de escenarios futuros al 2030.

Se ha logrado la instalación de la Estación Meteorológica Automática con sensores de Precipitación, Humedad Relativa, Temperatura Máxima y Mínima, la cual se encuentra instalada en la Comunidad de Paltarumi y se continuará con la toma de datos para futuros trabajos.

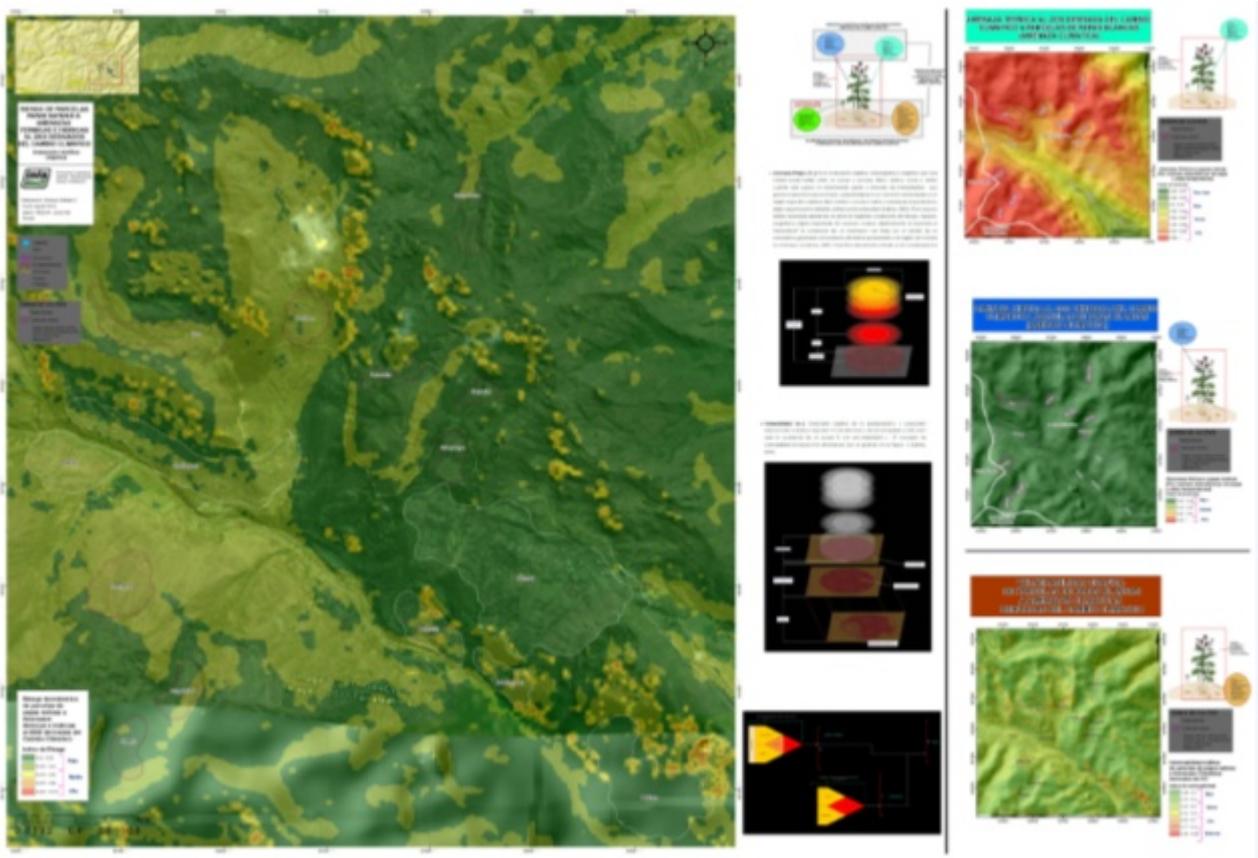
ANEXOS. Figuras

Figura 1. Resultados del Taller de Percepción climática y mapa de vulnerabilidad con la comunidad de Paltarumi



CULTIVOS	VARIETADES/CULTIVARES	Evaluación participativa (Intersubjetiva) de la vulnerabilidad de cultivos a los eventos amenazantes					Índice de Vulnerabilidad (IV)
		Exceso de lluvias	Sequía	Helada	Plagas	Patógenos	
Papas blancas	HUEV pajóna	0.75	1.00	1.00	0.68	0.75	0.83
	Vulnerabilidad para Papas blancas	1.00	1.00	1.00	0.79	0.75	0.90
Papas nativas dulces	chacarro	1.00	0.75	1.00	0.25	0.85	0.77
	Vulnerabilidad para Papas nativas dulces	1.00	0.75	1.00	0.25	0.85	0.77
Papas nativas amargas		0.47	0.39	0.83	0.25	1.00	0.59
	Vulnerabilidad para Papas nativas amargas	0.47	0.39	0.83	0.25	1.00	0.59
Vulnerabilidad para Papas		0.78	0.71	0.95	0.39	0.87	0.74
		0.75	0.38	0.75	0.52	0.25	0.53
Olluco, Oca		0.75	0.38	0.75	0.53	0.25	0.53
	Vulnerabilidad para Olluco, oca	0.75	0.38	0.75	0.53	0.25	0.53
Mashua		0.50	0.50	0.86	0.25	0.25	0.47
	Vulnerabilidad para Mashua	0.50	0.50	0.86	0.25	0.25	0.47
Vulnerabilidad para Tuberosas		0.68	0.53	0.85	0.39	0.46	0.58

Figura 2. Mapa de escenario climático al 2030 de la comunidad de Paltarumi



Componente 4.
Mejoramiento genético

Integración molecular y morfológica para la formación de la Colección Núcleo de papa en Bolivia

Silene Veramendi¹, Ximena Cadima², Julio Gabriel³

Compendio

Para un uso eficiente de la diversidad genética es necesario contar con una colección núcleo representativa de la misma. Con este propósito, tanto en Bolivia como en el Perú se trabajó en organizar colecciones núcleo (CN) de papa en base a la diversidad conservada *ex situ*. El trabajo realizado en Bolivia se hizo gracias a la contribución de diferentes fuentes financieras en diferentes años, como el ex Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación (SINARGEAA), el actual Instituto Nacional de Innovación Agrícola y Forestal (INIAF) y en los últimos años FONTAGRO a través del presente proyecto. Los resultados en el caso de Bolivia, se obtuvieron en base a datos morfológicos y moleculares de 1432 accesiones de papa cultivada. Con estos datos se conformó una CN que retuvo un 100 % de los alelos conservados y que representó la diversidad de la colección original. La suma de las accesiones elegidas para la CN de todas las especies de papa fue de 270, 90 accesiones a *Solanum* spp. *andigena*, 25 a *S. x ajanhuiri*, 33 a *S. x curtilobum*, 52 a *S. x juzepczukii*, 3 a *S. goniocalyx*, y 66 a *S. stenotomum*, representando en conjunto el 19 % de 1432 accesiones. Se confirmó la alta diversidad conservada en la CN de papa.

Introducción

La zona andina es el centro de origen y diversidad de la papa (Morales, 2007). Bolivia, al situarse en el centro de origen, alberga las siete especies cultivadas y 31 especies silvestres (Ochoa, 2001; Patiño *et al.*, 2007, 2008). La mayor concentración de diferentes morfotipos y niveles de ploidia de papa se halla en la zona circunlacustre del lago Titicaca de Bolivia y Perú (Morales, 2007); sin embargo, también se ha encontrado una diversidad importante en otras regiones del área andina, en los denominados microcentros de diversidad, tales como la zona de Colomi, ubicada en provincia Chapare en Cochabamba (Terrazas y Valdivia, 1998; García y Cadima, 2003), en Llallagua en el Norte de Potosí (Terrazas *et al.*, 2008), y en el altiplano Norte de La Paz (Iriarte *et al.* 2009), entre otros.

La diversidad de papa cultivada en Bolivia fue conservada en el Banco de Germoplasma de Tubérculos y Raíces Andinas custodiado por la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) hasta el 2010 por mandato del estado boliviano (Cadima *et al.* 2009). Esta colección consta de más de 1600 accesiones, correspondientes a las siete especies cultivadas nativas: *S. tuberosum* ssp. *andigena*, *S. phureja*, *S. goniocalyx*, *S. stenotomum*, *S. x ajanhuiri*, *S. x curtilobum* y *S. x juzepczukii*, provenientes de siete departamentos del país. El mantenimiento de la colección de papa fue conducida en base a un proceso cíclico para el desarrollo y evaluación de las accesiones en: campo, invernadero, *in vitro*, y almacenamiento, proceso instaurado para velar por la sanidad, limpieza y viabilidad de las accesiones.

Evidentemente el manejo y aprovechamiento de este germoplasma fue dificultoso por el número de accesiones y las condiciones de conservación (Cadima *et al.*, 2009). El desarrollo de actividades relacionadas con la conservación como el mantenimiento, la regeneración, caracterización (morfológica y molecular), evaluación, documentación, monitoreo de la viabilidad del material así como su disseminación para múltiples usos, incrementó con el tamaño de la colección (Cadima *et al.*, 2009).

Por otro lado, la existencia de accesiones duplicadas, ligada al tipo de reproducción del cultivo y/o a la sobre-representación de variedades cultivadas, contribuyó a un gasto y esfuerzos considerables para la conservación.

El tamaño de la colección también trajo dificultades en la selección de material para evaluación y otros usos. Para facilitar e incentivar un mayor uso, se definió la urgencia de identificar y conformar una colección núcleo (core collection en inglés).

El proceso para establecer una colección núcleo implica la identificación y selección de un limitado número de accesiones, minimizando la repetitividad y redundancia, pero que represente la diversidad genética de toda colección (van Hintum *et al.*, 2000). Para la selección de accesiones de la colección núcleo se puede utilizar cualquier tipo de información disponible tales como datos pasaporte (geográficos), caracterización

¹ Investigadora biología molecular Fundación PROINPA

² Coordinadora general del proyecto, Investigadora en agrobiodiversidad de la Fundación PROINPA

³ Responsable del Programa de mejoramiento genético de la Fundación PROINPA

(agromorfológica, genética) (van Hintum *et al.*, 2000). El procedimiento, más o menos complejo a seguir, dependerá de la información disponible que se quiera utilizar.

En el año 2002 se dieron los primeros pasos para identificar una colección núcleo de la colección de papa boliviana, para ello se utilizó la información de las variables morfológicas que se contaba hasta entonces (Duran *et al.*, 2003).

Posteriormente se inició el estudio de caracterización molecular de la colección basada en pruebas de ADN utilizando marcadores tipo microsatélites (llamados también SSR por sus siglas en inglés que significa "Simple Sequence Repeats"). Estos marcadores han sido descritos como una poderosa herramienta de identificación de clones y cultivares de papa para facilitar la conservación y manejo del germoplasma de papa (Milbourne *et al.*, 1998). Los microsatélites son segmentos cortos de ADN de 2 a 5 pares de bases, que se repiten en tándem y de forma aleatoria en el genoma de los seres vivos. Estos marcadores son altamente polimórficos, muestran una herencia co-dominante, son fáciles de medir y analizar, tienen una confiabilidad del 100%, son repetitivos y automatizables y sobre todo mapean en diferentes entornos genéticos a posiciones genómicas idénticas (Valdez y Kahl, 2005; Gabriel, 2008).

En el caso de la papa ya existe un mapa denso de SSRs que cubre todo el genoma (Milbourne *et al.* 1998), y diversos investigadores han identificado y recomendado un set de marcadores altamente polimórficos para la determinación de huellas genéticas de papa (Ghislain *et al.*, 2004, 2009; Feingold *et al.*, 2005), los cuales fueron validados y utilizados para la caracterización molecular de la colección boliviana de papa (Rojas *et al.*, 2007). Con los datos obtenidos se hizo un estudio preliminar para seleccionar una colección representativa de una de las especies cultivadas de la colección (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*) conjunciando información morfológica y molecular (Cortez, 2011). Este estudio marcó la guía para definir la metodología para conformar la colección núcleo de toda la colección de papa posteriormente.

Existen programas informáticos con diferente capacidad y utilidades que sirven de herramientas para conformar la colección núcleo (van Hintum *et al.*, 2000; Gouesnard *et al.*, 2001; Kyu-Won *et al.*, 2007, PASW, 2009). Kyu –Won *et al.*, (2007) efectuó una comparación de diferentes métodos y herramientas, y recomendó el programa PowerCore que utiliza la técnica M de maximización en la búsqueda de accesiones representativas, que retengan la diversidad alélica total en un menor número de cultivares. Cortez (2011) utilizó el mismo programa para su estudio en *Solanum tuberosum* spp. *andigena*.

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriores, en la presente investigación se propuso integrar la caracterización morfológica y molecular para conformar la colección núcleo de papa cultivada (siete especies) del banco de germoplasma boliviano, que contenga una máxima representación de la diversidad genética de todas las especies cultivadas, y que sea en tamaño y diversidad utilizable por los fitomejoradores y otros usuarios.

Materiales y métodos

Selección de datos morfológicos

De un total de 1612 accesiones de papa cultivada documentadas con información morfológica en la base de datos del banco de germoplasma de Tubérculos y Raíces andinas, se seleccionaron 1432 por poseer una completa descripción en todos los campos de descriptores morfológicos (29 caracteres) . Estas se separaron en seis grupos de acuerdo a la especie (Tabla 1).

Selección de datos moleculares

La información molecular fue obtenida de la caracterización efectuada con 22 marcadores microsatélites (Tabla 2) de la colección boliviana de papa. Los datos de los alelos (en pares de bases) de cada microsatélite fueron transformados en datos binarios y dispuestos en una matriz denotando la presencia de un alelo como (1) y la ausencia como (0).

Análisis estadístico

Para la obtención de la colección representativa se elaboró una matriz para cada especie con los datos moleculares y morfológicos, y se utilizó el programa libre PowerCore, que permite realizar un muestreo mediante la estrategia M de maximización. El programa permitió efectuar una clasificación de cada uno de los caracteres en clases, tomando en cuenta las frecuencias de cada alelo (datos moleculares) y de cada carácter morfológico. Posteriormente se realizó una búsqueda repetitiva de la muestra de accesiones que tuviera la más alta riqueza alélica y carácter morfológico. Para cada especie se hizo la selección de las accesiones maximizando la retención de todos los alelos (molecular) y los 29 caracteres morfológicos considerados.

Para visualizar cuán representativas fueron las accesiones seleccionadas dentro la estructura genética de la colección total, se generaron dendrogramas con todas las accesiones de cada especie y se remarcaron las correspondientes a la colección núcleo. Para la generación del dendrograma se utilizó el programa NTSYSpc Ver. 2.1. (Rohlf, 2000)

Resultados

Solanum tuberosum ssp. andigena

Para esta especie fueron seleccionados 90 accesiones (9%) para la colección núcleo, de un total de 970 (Tabla 3). El número de accesiones seleccionadas conservan el 100% de los alelos registrados en la caracterización molecular y en la diversidad morfológica.

Solanum x ajanhiri

Para esta especie se determinaron 25 accesiones (45%) para la colección núcleo, de las 56 que corresponde a esta especie (Tabla 3). El alto número de accesiones elegidas, sugiere que esta especie contiene menor redundancia de cultivares en la colección (Figura 1). Igualmente el número de accesiones seleccionadas retuvieron un 100 % de la diversidad de alelos de la matriz de entrada.

Solanum x juzepczukii

Para esta especie, se determinaron 52 accesiones (45%) de un total de 115 accesiones (Tabla 3). Esta especie, al igual que *S. x ajanhiri*, aparentemente presenta menor redundancia de cultivares en la colección de papa cultivada y por ello se seleccionó un alto porcentaje de accesiones para la colección núcleo (Figura 2).

Solanum goniocalyx y *S. phureja*

Todas las accesiones en el estudio de estas dos especies, fueron consideradas como parte de la colección núcleo, porque se observó que no hubo redundancia, y todas las accesiones fueron genéticamente diferentes entre sí (Tabla 3). Las herramientas del programa también confirmaron esta decisión.

Solanum stenotomum

El programa PowerCore, eligió 66 accesiones (32%) de un total de 209 (Tabla 3), denotando la alta diversidad genética de la colección. El 100 % de los alelos fueron retenidos en las accesiones seleccionadas.

En todas las especies se puede observar que se ha representado la diversidad total en cuanto a los alelos presentes en toda la colección. Las especies con menor número de accesiones cuentan con un mayor porcentaje en el muestreo, principalmente a causa de tener pocos individuos, y también por la diversidad alélica contenida en las accesiones.

Discusión

En el trabajo realizado por Durán *et al.* (2003) utilizaron un algoritmo automatizado de caracterización de duplicados que se basó en la identificación de accesiones idénticas en todas las características estudiadas. Similares resultados fueron reportados por Sackville *et al.*, (2002) y Huaman, *et al.* (1999a). Este método fue estricto, sobre todo al tratarse de evaluación de datos morfológicos. En ese sentido, nuestro trabajo complementó y mejoró la identificación de accesiones mediante el uso de información adicional proporcionada por marcadores moleculares tipo microsatélites. Se corroboró además la aplicabilidad de la metodología de maximización y el programa PowerCore utilizada por Cortez (2011) para la selección de accesiones representativas de la colección núcleo.

En un estudio anterior (Durán *et al.*, 2003), las comparaciones estadísticas realizadas para los casos de *S. tuberosum ssp. andigena* y *S. x juzepczukii* aparentemente no fueron suficientemente representados. Sin embargo, en nuestro estudio ocurrió lo contrario observándose una amplia diversidad genética entre las accesiones. Esto probablemente se debe a que en el primer caso el algoritmo de selección por su forma de proceder, dio mayor chance de selección a las accesiones más extremas, por tener éstas mayor contribución a la variabilidad general, y menor a las cercanas al baricentro, llegando estas últimas a ser sub-representadas. Por lo que al utilizar los microsatélites, estos detectaron secuencias cortas de pares de base en el ADN, diferenciables entre accesiones, lo que hizo el análisis aparentemente más preciso.

Consideramos que hasta aquí, con los estudios complementarios realizados en la formación de la colección núcleo, se dio un importante paso de complementariedad entre los datos morfológicos y moleculares, de manera tal que se cuente con una colección núcleo bien representada y que contenga el 100% de los alelos de

la colección original. Esto gracias al avance en el desarrollo de la bioinformática, que cada vez es más preciso y amigable, pero también requiere de un buen entrenamiento y de un equipamiento moderno.

Las implicaciones de conformar una buena colección núcleo es importante principalmente para que los fitomejoradores hagan un uso más apropiado y frecuente de esta rica variabilidad conservada en los bancos de germoplasma, para buscar fuentes y genes valiosos de resistencia a factores abióticos, bióticos y de calidad, para luego incorporarlas y por selección generar nuevos cultivares que se adapten al cambio climático, y garanticen la seguridad alimentaria. Estos aspectos permitirán que se suba el porcentaje de uso del banco de germoplasma de tubérculos y raíces andinas de Bolivia, cuya utilización no ha pasado del 5% en varios años de investigación, tal como lo mencionan Estrada (2000) y Gabriel (2010).

Otros usos potenciales de una colección núcleo está en el hecho de que además de constituir una fuente importante de diversidad genética para el mejoramiento de los atributos de calidad y productividad de nuevos genotipos; y para un mercado globalizado, los cultivares de papas nativas son productos exóticos que reúnen cualidades intrínsecas y mercadológicas que las hacen particularmente atractivas y cotizadas en modernos mercados nicho de alimentos gourmet.

En conclusión como indica Bonierbale *et al.* (2008), agregar valor a las papas nativas, colocaría a estas a la altura de la demanda urbana y de los patrones de consumo modernos y generaría una demanda igualmente estable de estos cultivares para su procesamiento e induciría a ampliar las áreas de cultivo y estimular el aumento de la productividad, garantizando la permanencia de estos cultivos a lo largo del tiempo y por consiguiente estimulando la conservación de la biodiversidad y la rentabilidad de las economías de los campesinos más pobres de la zona alto Andina. De ahí la importancia de formar una buena colección núcleo, que contenga toda la variabilidad y que sea fácilmente accesible para su uso.

Referencias

- Bonierbale, M.; W. Amoros; G. Burgos; E. Salas y M. Cáceres. 2008. Valor agregado y nutricional de la papa nativa. Páginas 73 -76 *in* Enrique Ritter y José I. Ruiz de Galarreta (ed.); III Congreso Iberoamericano en Patata: Avances en Ciencia y Desarrollo de la Patata para una Agricultura Sostenible. Octubre 5 al 10, 2008, Vitoria-Gasteiz, Euskadi, España.
- Cadima, X.; F. Terrazas; A. Gandarillas. 2009. Los sistemas de conservación de recursos genéticos de Tubérculos y Raíces Andinas: La experiencia de PROINPA. *Revista de Agricultura, Bolivia* 43 (60): 31-36.
- Cortez, F. 2011. Construcción de una colección núcleo de *Solanum tuberosum* spp. *andigena* conservada en el banco nacional de tubérculos y raíces andinas en base a marcadores morfológicos y moleculares. Tesis de Maestría. Posgrado Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Martín Cárdenas. Cochabamba, Bolivia.
- Durán, G.; X. Cadima; J. Zeballo. 2003. Desarrollo de una colección núcleo de la colección de papa cultivada (*Solanum ssp.*) del banco de germoplasma de raíces y tubérculos andinos de Bolivia. Centro de Estadística Aplicada - CESA, UMSS, *Bolivia: 1-7*. www.fcyt.umss.edu.bo/investigacion/cesa/articulos/desarrollo.pdf (Consultado: 05 de Oct. de 2012)
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad Genética y Caracterización de Especies Vegetales En: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Franco TL, Hidalgo R., Eds. IPGRI, Roma, Italia, Boletín Técnico N° 8 pp 2-26
- Estrada, N. 2000. La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martinez (Ed.) La Paz, Bolivia. 372 p.
- Feinglod, S.; J. Lloyd; N. Norero; M. Bonierbale; J. Lorenzen. 2005. Mapping and characterization of new EST-derived microsatellites for potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theo. Appl. Gen.* 111:456-466.
- Gabriel, J. 2010. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. ISBN: 978-99954-743-2-4, Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- García, W. y X. Cadima (eds.). 2003. Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: Síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia. Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). 1. Fundación para la Promoción y la Investigación de Productos Andinos (PROINPA), Alcaldía de Colomi, Centro Internacional de la Papa (CIP) Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Cochabamba, Bolivia, 208 p.

- Ghislain, M.; J. Nunez; M.d.R Herrera; J. Pignataro; F. Guzmán; M. Bonierbale; D.M. Spooner. 2009. Robust and highly informative microsatellite-based genetic identity kit for potato. *Mol. Breed.* 23:377-388
- Ghislain M.; D.M. Spooner; F. Rodriguez; F. Villamon; J. Nunez, C. Vasquez; R. Waugh; M. Bonierbale. 2004. Selection of highly informative and user-friendly microsatellites (SSRs) for genotyping of cultivated potato. *Theor. Appl. Genet.* 108:881-890.
- Gouesnard B.; T.M. Bataillon; G. Decoux; C. Rozale, D.J. Schoen; J.L. David. 2001. MSTRAT: An algorithm for building germplasm core collections by maximizing allelic or phenotypic richness. *J. Heredity* 2001:92(1).
- Hu, J.; J. Zhu; H.M. Xu. 2000 Methods of constructing core collections by stepwise clustering with three sampling strategies based on the genotypic values of crops. *Theor. Appl. Genet.* 101: 264-268.
- Huaman Z.; R. Ortiz; D. Zhang; F. Rodríguez. 2000. Isozyme análisis of entire and core collections os *Solanum tuberosum* subsp. Andigena potato cultivars. *Crop Sci.* 40:273-276.
- Huaman, Z.; C. Aguilar; R. Ortiz. 1999a Selecting a Peruvian sweetpotato core collection on the basis of morfological, eco-geographical, and disease and pest reaction data. *Theor. Appl. Genet.* 98:840-844.
- Huaman, Z.; R. Ortiz; R. Gomez. 1999b. A proposed *Solanum tuberosum* subsp andigena core collection. CIP. Report 1997-1998.
- Iriarte, V.; B. Condori; D. Parapo; D. Acuña. 2009. Catálogo etnobotánico de papas nativas del Altiplano Norte de La Paz-Bolivia. Cochabamba, Bolivia. 142 pp.
- Kyu –Won, K.; K.H. Chung, G.T. Cho; K.H. Ma; D. Chandrabalan; G. Jae- Gyun; T.S. Kim; Ch. Eun –Gi; P. Yong- Jin. 2007. PowerCore: a program applying the advanced M strategy with a heuristic search for establishing core sets. *Bioinformatics* 23(16):2155-2162
- Milbourne, D.R.C.; A.J. Meyer; L.D. Collins; C. Ramsay; C. Gebhardt; R.Waugh. 1998. Isolation, characterisation and mapping of simple sequence repeat loci in potato. *Mol. Gen. Genet.* 259: 233-245.
- Mohammadi, S., A. & B.M. Prasanna. 2003 Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants - Salient Statistical Tools and Considerations. *Crop Sci.* 43:1235-1248.
- Morales, F. 2007. Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. *Revista Latinoamericana de la Papa* 14 (1): 1-9.
- Ochoa, C. 2001. Las papas de Sudamérica: Bolivia. Plural editores/CID, La Paz, Bolivia. 535 p.
- Patiño, F.; B. Condori; L. Segales, X. Cadima. 2008. Distribución Potencial, Actual y Futura de Especies Silvestres de Papa Endémicas de Bolivia. *Revista de Agricultura, Bolivia* 44 (60): 37 – 44.
- Patiño, F.; F. Terrazas; A. Salas; X. Cadima. 2007. Los parientes silvestres del cultivo de papa en Bolivia. *Revista de Agricultura, Bolivia* 40(59): 19-28.
- PASW. 2009. Predicción de resultados e identificación de relaciones en los datos categóricos. PASW® Categories 18 – Especificaciones, 8p.
- Rojas, J.; Y. Sanchez; E. Alba; X. Cadima; J. Franco; A. Gandarillas. 2007. Utilización de la tecnología de los marcadores moleculares en la conservación del germoplasma y el mejoramiento genético dela papa: Experiencias en Bolivia. *Revista de Agricultura, Bolivia* 59 (40): 29-36.
- Rohlf, F.J. 2000. NTYSYS-pc, Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, Version 2.10e., *Appl. Biostatistics, Inc.*, New York.
- Terrazas, F. & G. Valdivia. 1998. Spatial dynamics of *in situ* conservation: handling the genetic diversity of Andean tubers in mosaic systems. *Gen. Res. News.* (114): 9 -15.
- Terrazas, F.; X. Cadima; R. García, J. Zeballos. 2008. Catálogo etnobotánico de papas nativas. Tradición y cultura de los Ayllus del Norte Potosí y Oruro. Ricerca & Cooperazione, Unión Europea, Centro de Apoyo a Desarrollo, GTZ, Fundación PROINPA, MDRyMA. Cochabamba - Bolivia. 189 p.
- Valdez – Moctezuma, E. & G. Kahl. 2005. Huellas de ADN en genomas de plantas. Mundi-Prensa, México, S.A. de C.V. Universidad Autónoma de Chapingo. 147 p.
- van Hintum, Th.J.L.; A.H.D Brown; C. Spillane; T. Hodgkin. 2003. Colecciones núcleo de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico No. 3 del IPGRI. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Número de accesiones de siete especies de la colección boliviana de papa cultivada con datos morfológicos y moleculares completos

Especie	Ploidía	Nº accesiones
<i>S. ssp. Andígena</i>	2n=4x=48	970
<i>S. x ajanhuiri</i>	2n=2x=24	56
<i>S. x curtilobum</i>	2n=5x=60	78
<i>S. x juzepczukii</i>	2n=3x=36	115
<i>S. stenotomum</i>	2n=2x=24	209
<i>S. goniocaly + S. phureja</i>	2n=2x=24	4
Total		1432

Tabla 2. Marcadores microsatélites utilizados en la evaluación. .

Marcador	Motivo Repetido	Secuencia de iniciador	Th °C
STG 0001	(CT)n	F CAGCCAACATTTGTACCCCT R ACCCCCACTTGCCATATTTT	58.0 52.0
STG 0010	(TG)n	F CGATCTCTGCTTTGCAGGTA R GTTCATCACTACCGCCGACT	60.0 55.0
STG 0016	(AGA)n	F AGCTGCTCAGCATCAAGAGA R ACCACCTCAGGCACTTCATC	55.0 53.0
STG 0025	(AAAC)n	F TGGAAATCCGAATTACGCTCT R AGGTTTTACCACTCGGGCTT	56.0 55.0
STI 0001	(AAT)n	r F CAGCAAAATCAGAACCCGAT R GGATCATCAAATTCACCGCT	60.0 55.0
STI 0004	(AAG)n	F GCTGCTAAACACTCAAGCAGAA R CAACTACAAGATTCATCCACAG	60.0 55.0
STI 0012	(ATT)n	F GAAGCGACTTCCAAAATCAGA R AAAGGGAGGAATAGAAACAAAA	56.0 55.0
STI 0014	(TGG)n (AGG)n	F AGAAACTGAGTTGTGTTGGGA R TCAACAGTCTCAGAAAACCCCTCT	54.0 55.0
STI 0030	(ATT)n	F TTGACCCCTCAACTATAGATTCTTC R TGACAACTTTAAAGCATATGTCAGC	58.0 60.0
STI 0031	(TCA)n	F AGGCGCACTTTAACTTCCAC R CGGAACAAATTGCTCTGATG	60.0 54.0
STI 0032	(GGA)n	r F TGGGAAGAATCCTGAAATGG R TGCTCTACCAATTAACGGCA	61.0 60.0
STI 0033	(AGG)n	F TGAGGGTTTTTCAGAAAGGGA R CATCCTTGCAACAACCTCCT	61.0 60.0
STM 0019	(AT)7 (GT)10 (AT)4 (GT)5 (GC)4(GT)4	F AATAGGTGACTGACTCTCAATG R TTGAAGTAAAAGTCCCTAGTAGTG	52.8 52.6
STM 0037	(TC)n (AC)n AA...(AC)n(AT)n	F AATTTAACTTAGAAGATTAGTCTC R ATTTGGTTGGGTATGATA	52.0 53.0
STM 1052	(AT)n GT(AT)n(GT)n	F CAATTTTCGTTTTTCATGTGACAC R ATGGCGTAATTTGATTTAATACGTAA	50.0 52.0
STM 1053	(TA)n (ATC)n	F TCTCCCCATCTTAATGTTTC R CAACACAGCATSCAGATCATC	53.0 53.0
STM1064	(TA)n (TG) GT (TG)n	F GTTCTTTTGGTGGTTTTCTT R TTATTTCTCTGTTGTTGCTG	55.0 55.0
STM 1104	(TCT)n	F TGATTCTCTTGCCACTGTAATCG R CAAAGTGGTGTGAAGCTGTGA	53.0 57.0
STM 1106	(ATT)n	F TCCAGCTGATTGTTAGGTTG R ATGCGAATCTACTCGTCATGG	51.0 55.0
STM 5114	(ACC)n	F AATGGCTCTCTGTATGCT R GCTGTCCCAACTATCTTTGA	60.0 57.0
STPoAc58	(TA)n	F TTGATGAAAGGAATGCAGCTTGTG R ACGTTAAAGAAGTGAGAGTACGAC	57.0 57.0

¹F (Forward) = Cebador Directo, ²R (Reverse) = Cebador Reverso

T^h = Temperatura de hibridación.

Ghislain *et al.*, (2009); Feingold *et al.*, (2005) y Milbourne *et al.* (1998)

Tabla 3. Número de accesiones por especie de la colección núcleo, seleccionados a través de la maximización en el muestreo de la colección original.

Especie	NAT	CN	PCN	PAC
<i>S. ssp. Andigena</i>	970	90	9	100
<i>S. x ajanhuiri</i>	56	25	45	100
<i>S. x curtilobum</i>	78	33	42	100
<i>S. x juzepczukii</i>	115	52	45	100
<i>S. stenotomum</i>	209	66	32	100
<i>S. goniocalyx +S. phureja</i>	4	4	100,0	100
TOTAL	1432	270	19	

Leyendas: NAT-Número de accesiones total, CN-Colección Núcleo, PTE-Porcentaje de la colección núcleo por especie, PAC-Porcentaje de Alelos Conservados.

Figura 1. Dendrograma generado por el programa NTSYS PC 2.10 mediante el análisis de UPGMA y coeficiente de similitud de Jaccard en base a datos moleculares de 56 accesiones de *S. x ajanhuiri*, donde se marcan con asteriscos las 25 accesiones seleccionadas para la colección núcleo.

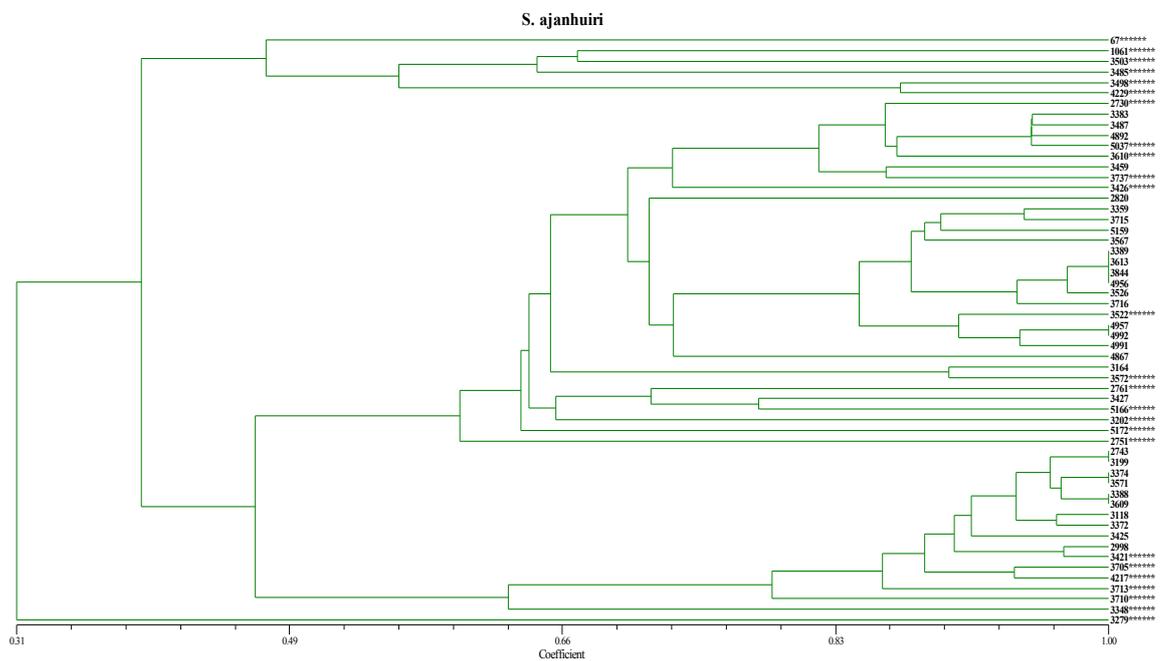
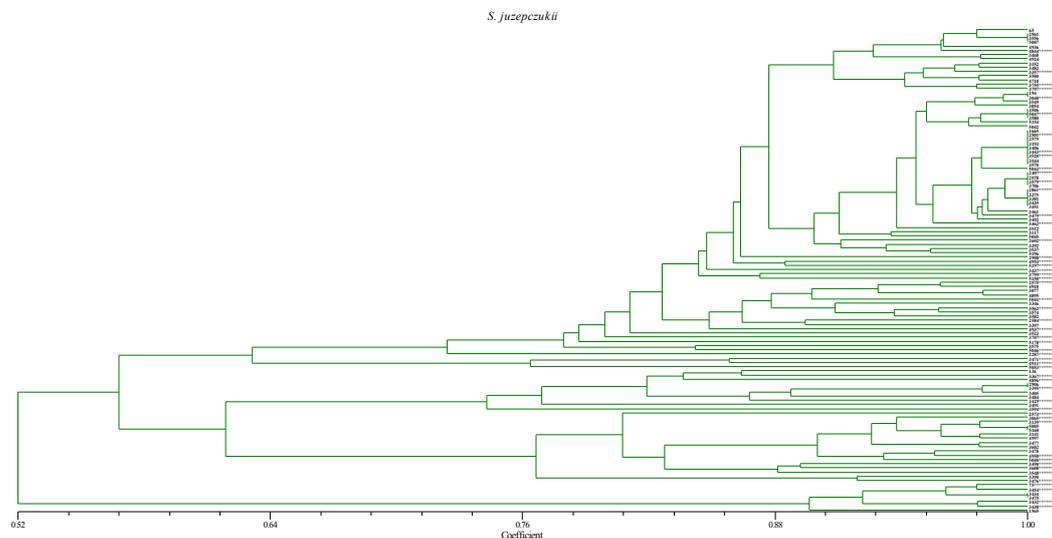


Figura 2. Dendrograma de 115 accesiones de papa de la especie *S. x juzepczukii* generado a partir de datos moleculares mediante el programa NTSYS-pc 2.10 por el método UPGMA y Coeficiente de similitud de Jaccard, donde se presenta marcadas con asterisco las 52 accesiones para la colección núcleo.



Avances en la identificación de una colección núcleo de papa del INIA-Perú

Jorge Benavides Ranilla, Amalia Pilar Garcia Góngora, Cecilia de la Cruz, Fernando Serna Chumbes, Vanesa Poquioma⁴, Rita Carolina Girón⁵, Noemí Zúñiga⁶

Compendio

El estudio de caracterización molecular se hizo en 80 variedades de la colección de papa del INIA-Perú utilizando 20 marcadores microsatélites. Se encontraron 126 alelos en total, con una Media de número de alelos por locus de 6.30, una Media de heterocigosidad esperada de 0.6037 y una Media del índice de contenido polimórfico (PIC) de 0.5506. Se hallaron 10 potenciales duplicados en las 80 variedades evaluadas, las cuales deberán ser confirmadas con los datos de las evaluaciones morfológicas. Durante tres campañas 50 variedades fueron evaluadas agromorfológicamente, 23 de ellas mostraron un comportamiento estable en sus datos de hábito de crecimiento, follaje, tallo, hoja, flor y tubérculo, así como en el registro de rendimiento.

Introducción

El Programa Nacional de Investigación en Papa (PNIRyT) planteó la necesidad de profundizar en las evaluaciones de la colección de germoplasma de papa, para lo cual es necesario contar con una colección núcleo que tome en cuenta información tanto agromorfológica como molecular. En este proyecto se avanzó en optimizar el proceso de evaluación molecular bajo las condiciones instaladas del INIA con una muestra de 80 variedades de papa.

Para la caracterización molecular de las papas nativas se decidió utilizar microsatélites (pequeñas secuencias repetidas consecutivamente dentro del genoma). Para lo cual se emplearon primers específicos para determinadas regiones del ADN, estos primers fueron amplificados mediante la técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa -PCR, que mediante tres tipos de temperaturas a diferentes tiempos permite clonar la región donde el primer (secuencia específica) se complementa con una región del genoma de la papa.

El procedimiento para el análisis de los resultados de la amplificación por PCR se consideró utilizar el equipo ABI3130xl (Analizador genético), para analizar de forma cuantitativa cada uno de los amplificados o alelos.

El objetivo entonces planteado fue el identificar una colección núcleo con información morfológica y molecular a partir de los cultivares de 80 muestras de papa nativa.

Materiales y métodos

1. Caracterización molecular

El estudio se hizo con 80 variedades de papa, tomando doble muestra por variedad.

Se extrajo el ADN por el método CTAB con modificaciones a partir de hojas frescas de papa nativa.

Se realizó una corrida electroforética en gel de agarosa al 1% para determinar la calidad del ADN después de su extracción y purificación. La cantidad tomada para realizar este análisis fue de 2ul.

Se realizó una cuantificación por espectrofotometría del ADN extraído, utilizando el equipo EPOCH®. Solo se utilizó 2 ul del volumen total de cada muestra para realizar la cuantificación. Los datos de la cuantificación del ADN fueron exportados a un archivo Excel, teniendo un rango de 200 – 1000 ng/uL con un rendimiento de 0.2 - 1.0 gr/ gr de tejido vegetal, y con una relación de absorvancia de 280/260 de 1.7 a 2

Para los análisis moleculares el ADN obtenido de la extracción fue diluido hasta tener una concentración de 10 ng/ul, esto se realizó tomando como referencia la concentración inicial cuantificado en el EPOCH®.

En el estudio a nivel molecular se utilizaron 20 microsatélites (secuencias específicas para papa) publicados por el CIP (Ghislain M., 2009), los cuales fueron estandarizados en el INIA para las condiciones del laboratorio.

El procedimiento para el análisis de los resultados de la amplificación por PCR se realizó utilizando el Analizador Genético ABI3130xl, el cual nos permitió analizar de forma cuantitativa cada uno de los amplificados que para este caso se denominan alelos, el formato de este equipo aparecen en forma de picos (alelos) (Fig. 1).

⁴ Investigadores en biología molecular del INIA-Perú

⁵ Investigadora y Responsable del proyecto en el INIA-Perú

⁶ Investigadora especialista en fitomejoramiento del INIA-Perú

El procedimiento incluye la adición a cada primer de microsatélite de una secuencia denominada cola M13 el cual se une a un fluoróforo respectivo y emite una fluorescencia que es captada por el analizador.

Comparación del índice de diversidad genética para cada locus de la colección

El nivel de polimorfismo de cada locus fue calculado usando el índice de diversidad genética, llamado también PIC (Índice de contenido polimórfico). El PIC provee un estimado del poder discriminatorio de un locus al tomar en cuenta no solo el número de alelos (riqueza alélica) que están expresados, sino también las frecuencias relativas de estos alelos (frecuencia alélica). Los valores del PIC varían desde 0 (monomórficos) hasta 1 (altamente discriminatorio).

2. Caracterización agromorfológica

El Germoplasma de papa del Programa Nacional de Investigación en Papa (PNIRyT), se mantiene en la localidad de Marcavalle, cuya ubicación es la siguiente:

Comunidad	:	Marcavalle
Distrito	:	Pucará
Provincia	:	Huancayo
Departamento	:	Junín
Altitud	:	3 890 m.
Longitud	:	75°08'651''
Latitud	:	12°23'799''

La evaluación se realizó durante las campañas: 2010 – 2011, 2011 – 2012 y 2012 - 2013. La siembra se realizó en parcelas de observación de 3 m. de largo por un metro de ancho entre surco

Además de las evaluaciones agromorfológicas, el material genético (50 variedades nativas) se evaluó también para resistencia a sequía y heladas. Los datos registrados fueron:

- Características morfológicas: Altura de planta, vigor, días a la floración, precocidad.
- Características agronómicas. Número de tubérculos por planta por categoría, peso de tubérculos por planta por categoría.

Resultados y discusión

1. Caracterización molecular

Contenido Polimórfico

El PIC fue calculado para cada primer (20 marcadores) con todas las 80 variedades, el valor más alto obtenido fueron los primers: S101 y S127 con un PIC de 0.829 y 0.827 respectivamente, mientras que el de menor PIC fue el primer S201 con un PIC de 0.55, La media de todos los primers analizados fue de 0.55.

De los 20 primers microsatélites 5 tuvieron niveles de polimorfismo alto (0.6 a 0.8) y los primer restantes presentan un índice de polimorfismo de un rango de 0.2 a 0.5, esto indica que los marcadores microsatélites utilizados no son tan polimórficos para esta muestra poblacional.

Número máximo de alelos amplificados por locus

La media del número de alelos por locus fue de 6.30, siendo el primer 127 con mayor número de alelos observados, el cual coincide con el mayor número de PIC reportado en este estudio, seguido por el primer 214 con 10 alelos el cual también presenta un alto índice de contenido polimórfico, mientras que el primer 0.27 presenta menor contenido de alelos (3) el cual coincide con uno de los menores PIC.

En total se encontraron 126 alelos de los microsatélites en 80 muestras de papas nativas.

Resumen de los análisis obtenidos con el programa cervus:

Número de individuos:	80
Número de loci (primers):	20
Media de número de alelos por locus:	6.30
Media de heterocigosidad esperada:	0.6037
Media índice de contenido polimórfico (PIC):	0.5506

Identificación de duplicados

Luego de analizar los datos se determinó que 10 accesiones de las 80 en total se encuentran duplicados (Tabla 1), en la cual comparando con la lista enviada solo la variedad Yana Huayro, coincide con su duplicado que proviene de otra localidad, las demás accesiones que muestran duplicados no son coincidentes con los nombres, por ejemplo se identifica a la variedad AccoSuyto como duplicado de la variedad Huamantanga azul, y por comunicación personal de los evaluadores de la caracterización morfológica, nos indicaron que hubo problemas en la codificación y era probable que algunas de las muestras no corresponden con el nombre asignado. Por lo cual se debe comparar los datos morfológicos y los generados en esta investigación a fin de definir bien si en las accesiones analizadas existen o no duplicados.

2. Caracterización agromorfológica

Se ha actualizado la información morfológica y agronómica de 50 variedades nativas de papa de la colección nacional mantenida por el INIA-Perú en Marcavalle. Del material evaluado, 23 variedades tuvieron un comportamiento estable a través de las campañas agrícolas de evaluación. La descripción resumida de las variedades se presenta en la Tabla 2.

ANEXOS

Tabla 1. Lista de accesiones duplicadas de papas nativas en estudio.

	Localidad	Variedad
	Pazos	AccoSuyto
	Centro	Huamantanga Azul
	Pucará	Huayro Macho Rojo
	Pazos	Puka Huayro
	Quishuar	Huayro Macho
	Pahual	Muro Huayro
	Pucará	Muro Huayro
	Centro	Huayro Rojo
	Pazos	Yana Huayro
	Centro	Yana Huayro

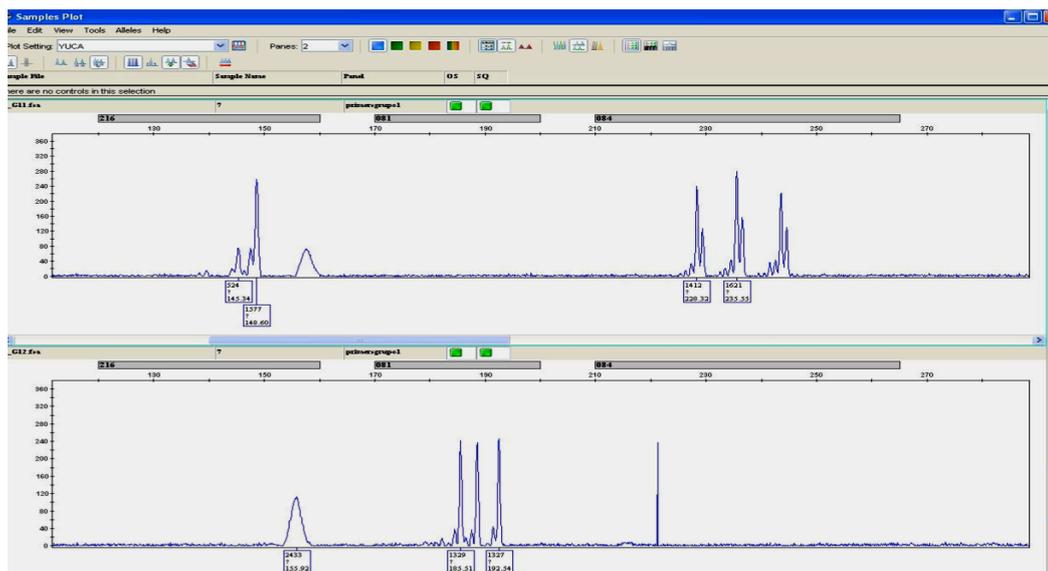
Tabla 2. Características morfológicas y agronómicas de variedades nativas de papa con resistencia a sequía y heladas de la colección de papa del INIA-Perú. 2011 – 2012.

Variedades Nativas	Hábito de crecimiento	Follaje	Tallo	Hoja	Flor	Tubérculo	Rdto t/ha
Ccecorrani	Decumbente	Verde	Verde, pequeñas alas rectas	Disectada, tres pares de foliolos	Blanca, uniforme	Comprimido, cáscara crema, pulpa crema, anillo vascular e interior morado	15 -18
Muru Vacapa Ccallun	Semi erecto	Verde	Pigmentado, sin alas	Disectada, tres pares de foliolos	Rojo morado intenso	Abovado aplanado, cáscara Cáscara rojo con áreas cremas irregulares, pulpa blanca.	18 – 20
Pajaritica	Semi erecto	Verde	Verde con manchas marrones	Disectada, cuatro pares de foliolos	Blanca, con tenues manchas rosadas	Comprimido, cáscara crema con mancha tenues irregulares rosadas, pulpa crema con anillo vascular e interior rojo.	
Lila Suyto	Decumbente	Verde claro	Verde	Disectada, cuatro pares	Rojo intenso, acúmen rosada	Alargado, cáscara rosada claro, pulpa crema	10 – 12
Cuchipa Chuchan	Semi erecto	Verde oscuro	Pigmentado, alas onduladas	Disectada tres pares	Morado oscuro	Oblongo, cáscara morado oscuro, pulpa crema	15
Yana Huancuy	Semi erecto	Verde oscuro	Pigmentado morado	Disectada tres pares	Morado oscuro	Oblongo, cáscara morada oscura, negra	15 – 18

Variedades Nativas	Hábito de crecimiento	Follaje	Tallo	Hoja	Flor	Tubérculo	Rdto t/ha
			oscuro			pulpa blanca	
Huamánpa Huaman	Semi erecto	Verde	Verde, alas rectas	Disectada cuatro pares	Rosado intenso	Oblongo, cáscara roja con áreas cremas, pulpa blanca	18 – 20
Sumacc Soncco	Semi - erecto	Verde	Verde pigmentado	Disectada con cuatro pares de foliolos	Rojo morado intenso	Redondo, cáscara roja, pulpa amarilla con anillo vascular rojo	18 – 20
Yuracman	Decumbente	Verde	Verde, poco pigmentado	Disectada, tres pares	Rojo morado	Oblongo alargado, cáscara crema, pulpa crema anillo vascular e interior pigmentado rojo	20 – 25
Socco Huaccoto	Semi erecto	Verde oscuro	Pigmentado	Disectada, tres pares	Rojo morado	Redondo, cáscara morado oscuro, pulpa blanca, anillo vascular e interno morado oscuro	18 - 20
Amarilla del Centro	Erecto	Verde claro	Verde claro, alas rectas	Disectada, 4 pares de foliolos	Blanco uniforme	Oblongo, cáscara crema, pulpa amarilla uniforme	18 – 20
Yana Toro	Decumbente	Verde oscuro	Pigmentado con poco verde	Disectada, cuatro pares de foliolos	Morado oscuro intenso	Oblongo aplanado, cáscara morada oscura, pulpa morada	10 – 12
Huayro Rojo	Semi erecto	Verde	Verde, poco pigmentado	Disectada, cuatro pares de foliolos	Rojo morado intenso	Oblongo, cáscara roja, pulpa amarilla	20 – 25
Cuchipa Ishmaynin	Decumbente	Verde oscuro	Pigmentado	Disectada, cuatro pares de foliolos	Morado claro	Oblongo, cáscara morado oscuro, pulpa blanca	15 – 18
Poccyá	Semi erecto	Verde claro	Verde, levemente pigmentado, alas rectas	Disectada, tres pares de foliolos	Blanco	Oblongo, cáscara roja morada, pulpa crema	8 – 10
Muru Canteña	Semi erecto	Verde	Pigmentado, alas rectas	Disectada, dos pares de foliolos	Morado acúmen morado claro	Redondo aplanado, cáscara crema con áreas irregulares negras	18 – 20
Ambar	Semi erecto	Verde claro	Verde, poco pigmentado	Disectada, tres pares de foliolos	Rosado morado	Comprimido, cáscara roja uniforme, pulpa crema con anillo vascular e interno rojo.	
Ccala Huecco	Decumbente	Verde	Verde, alas onduladas	Disectada, 4 pares de foliolos	Rojo morado intermedio	Alargado, cáscara crema, pulpa crema uniforme	7 – 10
Yana Piña	Decumbente	Verde oscuro	Muy pigmentado, alas rotadas	Disectada, cinco pares	Morado intenso, acúmen blanco	Oblongo, tuberosado, cáscara morado oscuro, pulpa crema	12 – 15
Allcca Palta	Decumbente	Verde	Pigmentado, alas rectas	Disectada, tres pares	Rojo morado, acúmen blanco	Redondo aplanado	18 – 20
Llunchuipa Mundana	Decumbente	Verde claro	Pigmentado, muy oscuro	Disectada, cuatro pares	Morado intenso	Redonda tuberosada, cáscara morado oscura, pulpa crema	12 -15

Variedades Nativas	Hábito de crecimiento	Follaje	Tallo	Hoja	Flor	Tubérculo	Rdto t/ha
Peruanita	Decumbente	Verde	Verde poco pigmentado	Disectada, cuatro pares	Rojo morado intenso	Oblongo aplanado, cáscara crema con bandas irregulares rojas, pulpa amarilla	18 -20
Yana Huayro	Decumbente	Verde oscuro	Pigmentado, muy oscuro	Disectada, cuatro pares	Rojo morado intenso	Oblonga alargada, cáscara morado oscuro brillante, pulpa amarilla	12 -15

Figura 1. Presencia de alelos con el primer S081, S216 y O84 detectados con el Analizador Genético ABI3130xl



Avances en la evaluación sobre resistencia genética a sequía en el programa de mejoramiento de papa de la Fundación PROINPA

Julio Gabriel⁷, Ada Angulo, Jury Magne, Pablo Mamani⁸, Ponciano Porco, Gabriela Ancasi⁹

Compendio

En el primer año del proyecto y con el propósito de seleccionar clones resistentes a estrés hídrico bajo invernadero, se evaluaron nueve familias de cruzamientos inter-específicos (900 clones). Los tratamientos (clones) fueron sometidos a estrés hídrico por 10 días a los 76 días después de la siembra (inicio de tuberización). Las variables de respuesta fueron la severidad, recuperación, grado de postrado, volumen, peso, materia seca, longitud de raíz, eficiencia de uso de agua, peso y número de tubérculos. Fueron seleccionados 60 clones con resistencia al estrés hídrico que produjeron tubérculos. La mayoría de los clones alargaron el ciclo y recién se encontraban en la formación de tubérculos en el momento de la cosecha. La familia 02-208 obtuvo el mayor grado de recuperación respecto de las demás familias. Hubo alta correlación de la variable recuperación versus las variables: *grado de postrado*, *volumen de raíz*, *longitud de raíz* y *WUE*. Esto indicó que los clones con menor grado de postrado o turgencia, mayor volumen radicular, mayor longitud radicular y mayor eficiencia del uso del agua (WUA) mostraron mayor recuperación. Por otra parte, los componentes de varianza genética mostraron que los efectos aditivos y dominantes son importantes en la resistencia al estrés hídrico. Dada la importancia de los efectos aditivos, las heredabilidades de severidad, recuperación y turgencia, fueron las más altas (mayores al 80%). Esto sugiere que estos caracteres son los más adecuados para la selección de genotipos portadores de genes de resistencia a sequía. El genotipo macho YH x blb 21 mostró una buena Aptitud Combinatoria General (ACG) para los factores mencionados y las cruces A (blb x phu) x NKD – 164 y Chulina 3 (phu) x YH x blb21, mostraron la mejor Aptitud Combinatoria Específica (ACE).

Quince clones seleccionados en base a los resultados del primer año con resistencia a sequia fueron evaluados en un segundo año bajo tres tratamientos de sequia (0,10 y 20 días sin riego). El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las variables de respuesta evaluadas fueron: grado de severidad por daño de sequia y grado de recuperación. Se seleccionaron los genotipos 00-210-19,00-210-21,00-210-27 y 00-210-40 por su resistencia a sequia y los genotipos 02-210-8 y 02-210-26 por su buena capacidad de recuperación.

Se evaluaron también bajo invernadero 15 cultivares de papa nativa provenientes del Norte Potosí junto al testigo Waych'a con el objetivo de identificar fuentes y mecanismos de resistencia genética a sequía. Se aplicaron dos tratamientos de sequía (10 y 20 días sin riego) al cabo de los cuales se evaluaron la severidad de daño por sequía o resistencia, la capacidad de recuperación, el peso del follaje y el volumen y peso de raíz. Una vez realizados los análisis ANVA y de correlación se encontró que la sequía de 20 días causó mayor severidad que la sequía de 10 días. También se halló interacción entre el tratamiento de sequía y la variedad. El cultivar Yana Qoyllu fue la más resistente en la sequía de 10 días y estuvo entre las más resistentes en la sequía de 20 días. Asimismo estuvo entre las de mejor recuperación después de la sequía de 20 días. Puka Sutamari estuvo entre las variedades de mejor recuperación después de la sequía de 10 días. Los mecanismos asociados con la resistencia entre las variedades nativas fueron el grado de recuperación para los 10 y 20 días de sequía y el peso de follaje para los 20 días de sequía.

En otro ensayo de selección de cultivares de papa resistentes a sequía en condiciones de invernadero, se evaluaron 13 cultivares nativos de papa del Norte de La Paz y Candelaria. Los genotipos fueron sometidos a sequía durante 14 días en el inicio de tuberización (a los 76 días después de la siembra). Las variables de respuesta fueron severidad (S), materia seca Follaje (MSF), volumen de raíz (VR), Peso de raíz (PR). En base a los parámetros evaluados fueron seleccionados dos cultivares: Yana Runa y Qaqa Surimana, con mayor resistencia a estrés hídrico por sequía. Hubo alta correlación inversa de la variable S versus MSF, VR y PR.

Introducción

En Bolivia, la papa es un cultivo básico y de seguridad alimentaria para el 30 al 40% del total de los campesinos del país. El consumo per cápita de papa es de 80 a 100kg/año. La papa es producida en zonas con altitudes que oscilan entre 2.300 y 3.600 msnm. Anualmente se cultivan aproximadamente 1.300.000 ha con un valor que alcanza los 150.000 millones de dólares.

⁷ Responsable Programa de mejoramiento genético de la Fundación PROINPA

⁸ Investigadores del Programa de mejoramiento genético de la Fundación PROINPA

⁹ Estudiantes involucrados en la investigación como tesistas

Sin embargo, los rendimientos de papa en Bolivia son bajos y se encuentran entre 5 a 7 t/ha. En cambio, en Europa y Norte América, los rendimientos de papa alcanzan entre 20 y 30 t/ha. Fuera de los factores agronómicos y económicos, la producción de papa en Bolivia está limitada por factores abióticos como heladas, sequía y la baja fertilidad en el suelo y también por factores bióticos como las plagas y enfermedades.

Según el Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE, 2008), la sequía es uno de los eventos más importantes que han afectado a Bolivia durante los últimos años. En el año 2007 se han reportado 37.638 familias afectadas por sequía, un número cinco veces superior al reportado en el año 2002 (INE, 2008). Estas cifras están demostrando que algo está pasando con el clima y la amenaza a afrontar se caracteriza por sequías prolongadas, desertificación extrema, agotamiento de fuentes de agua, etc. (Magne, 2009).

La sequía en territorio boliviano se presenta con mucha frecuencia, y al ser un factor abiótico no tiene control en zonas sin riego, siendo una importante limitación que ejerce el medio ambiente sobre la producción de papa en las áreas tradicionales del cultivo.

Mamani (2000) reportó que los estados fenológicos más susceptibles a la sequía en papa fueron la emergencia y el inicio de la formación de estolones cuando el daño a la parte aérea de la planta fue superior al 50%. Asimismo, encontró que una sequía temprana (sequía pre-tuberización) ocasionaba tubérculos más pequeños tanto en variedades sensibles como en tolerantes con respecto a una sequía tardía (sequía aplicada un mes después de la tuberización).

Gabriel *et al.* (2011) observaron que aunque la papa puede soportar hasta un mes de sequía en condiciones de campo, un periodo de diez días de estrés hídrico puede causar mucho daño cuando es aplicado en macetas en invernadero.

Para afrontar el problema de la sequía, existen dos opciones: optimizar el uso del agua y/o generar variedades genéticamente resistentes y/o tolerantes (Ceccarelli, 1984). Siendo que el manejo agronómico se aplicaría específicamente para cultivos bajo riego. Para los suelos a secano se contaría únicamente con la segunda alternativa, la cual permitiría lograr rendimientos estables en condiciones de ambientes contrastantes. Para la obtención de variedades resistentes y/o tolerantes se requiere del fitomejoramiento, a través del uso de germoplasma resistente y/o tolerante.

Se pudo observar que las variedades de papas nativas que crecen en zonas alto andinas están sometidas constantemente a condiciones ambientales adversas, por ello, se cree que dichos genotipos hayan logrado adaptarse y/o creado mecanismos que les permitan crecer, sobrevivir y producir tubérculos en ambientes propensos a la sequía.

La Fundación PROINPA con el propósito de identificar fuentes (progenitores) y mecanismos de resistencia a sequía, inició estudios en variedades mejoradas y nativas de papa, para resistencia y/o tolerancia a este factor en invernadero, para que luego de ser identificados algunos parentales potenciales se realicen cruzamientos para generar nuevas variedades con capacidad de adaptarse al cambio climático y que sean productivos bajo condiciones de sequía.

Adicionalmente dentro del programa de mejoramiento genético se planteó la evaluación de nueve familias de papa (obtenidas mediante cruzamientos inter específicos) por su resistencia a sequía en el estadio de pre-tuberización (formación de estolones), para seleccionar las familias y los genotipos que expresen mayor resistencia al estrés hídrico. También determinar los mecanismos asociados con la resistencia a sequía, los cuales permitirían establecer una tipología de progenitores resistentes a la sequía y también encontrar indicadores apropiados de resistencia a la sequía aplicada en el estadio más susceptible en papa.

Materiales y métodos

Los trabajos de investigación sobre resistencia genética a sequía se realizó en el invernadero de la Fundación PROINPA zona de El Paso, a 15 km de la ciudad de Cochabamba provincia de Quillacollo del departamento de Cochabamba (Bolivia), comprendido entre los paralelos 17° 18' de latitud Sud, y 66° 14' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 2540 msnm aproximadamente.

1. Resistencia genética de híbridos de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la sequía

Se uso semilla sexual de nueve familias de cruzamientos inter-específicos de papa (100 semillas/ familia), que fueron sembrados en bandejas de almáico (Tabla 1).

Los tratamientos estuvieron constituidos por nueve familias de cruzamientos inter-específicos. El diseño experimental para la selección de las familias más resistentes fue el de bloques completos al azar con diferente número de repeticiones para cada tratamiento (familia), esto debido al diferente número de semillas botánicas que germinaron en cada familia. Los bloques permitieron controlar la posible variación existente en la iluminación del invernadero. Por otra parte, para la selección de los genotipos más resistentes, el diseño experimental fue el de bloques incompletos, esto debido a que todos los genotipos eran únicos (sin repeticiones); sin embargo, se contaron con tres testigos sistemáticos, los cuales tenían repeticiones en todos los bloques. La unidad experimental estuvo constituida por una planta por maceta.

Al inicio del ensayo, 100 semillas sexuales de cada genotipo se almacenaron en bandejas. Una vez que las plántulas alcanzaron entre 10 a 12 cm de altura, se trasplantaron a macetas de 500 g.

El estrés hídrico consistió en 10 días sin riego a partir de los 76 días de la siembra (inicio de la tuberización). Una vez finalizado el periodo de estrés se procedió a evaluar los parámetros fisiológicos, parámetros morfológicos, mecanismos integrados de resistencia a la sequía y componentes de rendimiento.

Los parámetros fisiológicos comprendieron: La marchites o severidad y la capacidad de recuperación. La severidad del daño por sequía se evaluó utilizando la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo (2009):

Escala	Descripción
0	Planta igual al testigo.
1	Planta ligeramente marchita y/o con amarillamiento incipiente y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame incipiente.
2	Planta marchita en un 50% de sus hojas y/o con amarillamiento moderado y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice e las hojas y/o caída de las hojas y/o acame moderado.
3	Planta marchita en un 75% d sus hojas y/o con amarillamiento avanzado y/o desecación de las hojas y/o necrosis del ápice de las hojas y/o caída de las hojas y/o acame avanzado.
4	Planta completamente marchita en un 100% y/o con amarillamiento total (excepto brotes) y/o desecación total de las hojas (excepto brotes) y/o necrosis total del ápice de las hojas (excepto brotes) y/o caída total de las hojas (excepto brotes) y/o acame total.
5	Planta muerta

Una vez finalizada la evaluación de daño por sequía, se aplicó un riego de recuperación y al cabo de cinco días se evaluó el grado de recuperación, de acuerdo a la escala de Blum (1993) modificada para recuperación:

Escala	Descripción
0	Planta igual al testigo.
1	Planta completamente recuperada en un 90% y/o área foliar total (excepto brotes) y/o recuperación total de las hojas (excepto brotes).
2	Planta recuperada en un 75% de sus hojas y/o turgencia de hojas y tallo.
3	Planta recuperada en un 40% de sus hojas y/o con área foliar moderada y/o turgencia de hojas y tallo.
4	Planta ligeramente recuperada y/o con amarillamiento incipiente y/o turgencia de hojas y tallo.
5	Planta muerta.

Los parámetros morfológicos que se evaluaron fueron: Grado de postrado en (escala), volumen, longitud y materia seca de raíz. Al final del periodo de estrés y antes del riego de recuperación se evaluó la variable grado de turgencia, de acuerdo a la escala de Mamani (2000):

- 1= Planta turgente (90 grados)
- 2=Planta inclinada (45grados)
- 3= Planta caída (0-5 grados)

Los Mecanismos de resistencia integrados comprendieron la eficiencia del uso de agua (WUE). Al inicio y al final del estrés hídrico se pesaron las plantas más las macetas y el sustrato, esto con la finalidad de obtener la eficiencia de uso de agua por la planta a través de la siguiente fórmula:

$$WUE=BM/T$$

Donde:

WUE= Eficiencia del uso de agua, BM=Cambio en biomasa, T= Agua usada

Al final de la madurez fisiológica y después de la cosecha se evaluaron las variables de respuesta de raíz. Esta evaluación no se realizó inmediatamente después del tratamiento de sequía debido a que hubiese sido necesario destruir la planta antes de obtener los tubérculos necesarios para perpetuar el genotipo. La primera

variable que se evaluó fue el volumen de raíz. Para la medición de la misma, se extrajeron las raíces de cada genotipo de cada familia, eliminando el sustrato. Después se enjuagaron las raíces hasta eliminar los residuos del sustrato. Estas raíces se sumergieron en una probeta de 500 ml, la cual fue previamente llenada con 400 ml de agua. El volumen de agua incrementado una vez sumergida la raíz representó el volumen de la raíz. La segunda variable de respuesta evaluada fue longitud de raíz, para esta evaluación, se utilizó una regla metálica de 60 cm, con la cual se midió la longitud de la raíz. La última variable de raíz fue materia seca de raíz, para la cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% MS = 100 - ((PMH - PMS) / PMH) * 100$$

Donde:

%MS = Porcentaje de materia seca, PMS= Peso de la muestra seca, PMH = Peso de la muestra húmeda.

Para obtener el peso húmedo, se pesaron las raíces en una balanza electrónica inmediatamente después de terminadas las otras evaluaciones de raíz. Para el peso seco se dejaron secar las raíces antes de realizar el pesado.

Las últimas variables que se evaluaron fueron los componentes de rendimiento en la cosecha. La evaluación de componentes de rendimiento se realizó para evaluar el efecto del estrés hídrico aplicado en la pre-tuberización sobre el rendimiento.

Los componentes evaluados fueron peso y número de tubérculos. Para evaluar peso de tubérculos se pesaron todos los tubérculos de cada genotipo en una balanza electrónica. Para número de tubérculos, se contó el número de tubérculos por genotipo.

Al final se realizó un análisis de correlación entre severidad y recuperación y las demás variables para determinar que variables se encontraban correlacionadas y en que magnitud con severidad y/o recuperación.

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

- i = 1, 2 bloques
- j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 familias
- Y_{ij} = Variable de respuesta observada en una unidad experimental en el i -ésimo blq de la j -ésima familia.
- μ = Media general del ensayo o experimento
- α_i = Efecto aleatorio del i -ésimo bloque \approx NIID $(0, \sigma^2_{\alpha_i})$
- β_j = Efecto fijo del j -ésimo familia.
- e_{ij} = Efecto aleatorio de los residuales \approx NIID $(0, \sigma^2_e)$

En base al modelo definido se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las familias y genotipos más resistentes y/o que mejor recuperaron. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando el Proc Mixed de SAS (SAS 2004).

Para facilitar la discriminación de las accesiones por su resistencia, se realizó el análisis de agrupamiento (Cluster) de acuerdo al Método de Ward, utilizando el Proc Cluster de SAS.

Para determinar las características morfológicas y fisiológicas asociadas con la resistencia y la recuperación a la sequía, la severidad y el grado de recuperación (variables ordinales) se asociaron con las demás variables de respuesta mediante el análisis de correlación de Pearson:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Donde:

r = Coeficiente de correlación de Pearson, S_{xy} = Covarianza entre las variables x e y , S_x = Desviación estándar de la variable x , S_y = Desviación estándar de la variable y .

Para el **análisis genético** de la resistencia a sequía se utilizó el Diseño I de Carolina de Norte, en el que cada progenitor masculino se apareó con m hembras. El análisis de este diseño permitió estimar las varianzas

genéticas de las variables de respuesta y determinar la aptitud combinatoria general (ACG) del macho y la aptitud combinatoria específica (ACE) de cada cruzamiento. También se estimó la herencia en sentido estrecho (h^2) y amplio (H^2) (Martínez-Garza 1988).

2. Resistencia genética en 16 clones de papa a sequía

En base a los resultados de las evaluaciones de las nueve familias (Tabla 1), en una segunda campaña agrícola se seleccionaron los mejores 15 genotipos para confirmar su resistencia a sequía (Tabla 2).

Los tubérculos fueron sembrados en macetas de dos kilogramos. Cada unidad experimental estuvo constituida por tres macetas. La parcela se implementó en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos estuvieron conformados por la combinación de dos factores: un tratamientos de sequía y quince genotipos con resistencia a sequía.

El tratamiento de sequía consistió dejar las macetas 10 días sin riego. En el desarrollo del cultivo se realizó un aporte, en la fase de llenado de tubérculo. Se hizo el deshierbe según el requerimiento del cultivo. El ensayo se inició a los 75 días después de la siembra (inicio de tuberización) que es la etapa más sensible en la papa.

Para el ensayo de sequía se evaluaron las siguientes variables de respuesta: Severidad o grado de marchitez (GM) que se evaluó según la escala de Blum (1993) adaptada por Angulo (2009), una vez finalizado el periodo de sequía y Capacidad de recuperación o grado de recuperación (CR), la cual se evaluó al cabo de cinco días de finalizada la evaluación de daño por sequía y una vez aplicado un riego de recuperación, de acuerdo a la escala de Blum (1993) modificada para recuperación (Gabriel et al., 2011).

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron se aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes y/o que mejor recuperaron. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando los Proc GLM y Mixed del SAS (SAS, 2004).

3. Resistencia genética de cultivares nativos de papa a sequía

Se hicieron dos tipos de investigaciones con cultivares nativos de papa. En la **primera investigación** el material empleado estaba constituido por 15 cultivares nativos (Tabla 3) del Norte del departamento de Potosí.

Los tratamientos estuvieron constituidos por la combinación de dos factores: a) 15 cultivares de papa (más un testigo) y b) Tres niveles de duración del estrés hídrico: 0 días sin sequía (testigo), 10 días de sequía y 20 días de sequía.

Se estimó como inicio de la tuberización, 79 días después de la siembra (Mamani, 2000).

La investigación se implementó bajo el diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con 3 repeticiones en cada uno de los ensayos.

Cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro macetas con una planta/maceta. Las macetas fueron de un Kg. de capacidad. Se usaron cuatro macetas/unidad experimental debido a que la evaluación de raíces al final de los tratamientos de estrés requirió de la destrucción de la planta, entonces fueron necesarias plantas adicionales para evaluar los componentes de rendimiento.

La papa puede soportar hasta periodos de 30 días de sequía en campo, sin embargo, en condiciones de invernadero la pérdida de agua del sustrato es muy acelerada por la evaporación y esto provoca un estrés más acentuado en las plantas. En un ensayo previo se probaron los niveles de estrés de 6 y 18 días sin riego observándose que las plantas resistentes soportaron muy bien el nivel de 18 días; por tanto, se decidió ampliar el rango de los tratamientos a 10 y 20 días sin riego.

Los riegos se manejaron con mucha precisión. Se empleó una probeta graduada para el riego, utilizándose medio litro por cada maceta.

Las variables evaluadas fueron: marchites o severidad, capacidad de recuperación, peso de follaje y volumen y peso de raíz.

La marchitez o la severidad se evaluó al final de cada tratamiento de sequía de acuerdo a la escala de Blum (1993) modificada por Angulo *et al.* (2009):

La capacidad de recuperación se evaluó después de cinco días de aplicado un riego al final del tratamiento de sequía, de acuerdo a la siguiente escala de recuperación modificada de la escala de Blum (1993) con modificaciones para severidad.

Las variables de raíz y de follaje se evaluaron mediante el proceso de evaluaciones destructivas de una maceta de cada unidad experimental. La variable volumen de raíz se cuantificó por el método volumétrico con la ayuda de una probeta graduada de 500 ml con agua. Primero se procedió al llenado de agua a la probeta hasta 400 ml, después se introdujo la raíz y el volumen de agua desplazado representó el volumen de raíz. Las variables peso de raíz y de follaje se evaluaron en una balanza de precisión.

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo modelo estadístico planteado (Martínez-Garza, 1998).

En base al modelo definido se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes y aquellas que mejor recuperaron. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando los Proc GLM y Mixed del SAS (SAS, 2004).

Para determinar los mecanismos morfológicos y fisiológicos asociados con la resistencia y la recuperación a la sequía, la severidad y el grado de recuperación (variables ordinales) se asociaron con las demás variables de respuesta mediante el análisis de correlación de Pearson (Martínez-Garza, 1988).

En la **segunda investigación** en macetas de 1 kg, fueron sembradas en invernadero 13 cultivares nativos de papa y un testigo (Waych'a) (Tabla 3) en diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se aplicó un tratamiento de sequía de 14 días, se evaluaron parámetros fisiológicos (grado de Marchitez o severidad de daño por sequía que se evaluó según la escala de Blum (1993) y morfológicos (materia seca de follaje, peso de raíz y volumen de raíz).

Los datos de cada una de las variables de respuesta que satisficieron o aproximaron a los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron de acuerdo a los modelos estadísticos planteados (Martínez-Garza, 1988).

Sobre la base del modelo mencionado se realizaron análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante contrastes de un grado de libertad para determinar las variedades más resistentes y/o que mejor recuperaron. El análisis de varianza también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados se realizaron utilizando el Proc GLM del SAS (SAS, 2004).

Resultados y Discusión

1. Resistencia genética de híbridos de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la sequía

La estimación de los componentes de varianza para la variable severidad de familias (Tabla 4) indicó que no hubo varianza entre bloques ($\sigma^2_r = 0$), entonces la siembra realizada en bloques con diferente nivel de iluminación no causó variación en las unidades experimentales o respuestas de las diferentes familias. Por lo que el diseño de Bloques al azar no era necesario, era suficiente con un diseño completamente aleatorio, por esto el proc Mixed detectó la varianza cero para bloques y analizó los datos sin tomar en cuenta este factor.

El análisis de varianza para severidad de familias (Tabla 5), mostró que existieron diferencias significativas entre los efectos de la sequía sobre las diferentes familias ($Pr < 0.01$).

La familia que obtuvo la menor severidad (0.26) o menor daño fue la 02 – 208 (YH - blb x phu). Las demás familias obtuvieron severidades estadísticamente superiores (1.54 y 2.61) (Fig. 1).

Análisis de severidad en clones

La estimación de los componentes de varianza para la variable severidad de clones (Tabla 6) indicó que tampoco hubo varianza entre bloques ($\sigma^2_r = 0$), por lo que la siembra realizada en bloques con diferente nivel de

iluminación no causó variación en las unidades experimentales o respuestas de los diferentes clones. El proc Mixed analizó los datos ignorando este factor.

El análisis de varianza para severidad de clones (Tabla 7), mostró que hubo diferencias significativas entre los efectos de la sequía sobre los diferentes clones ($Pr < 0.01$).

Unos 320 los clones tuvieron menor severidad de daño por sequía (Fig. 2). Al final se logró seleccionar 60 clones por resistencia a sequía y por la producción de tubérculos.

De entre estos 60 genotipos, fueron seleccionados 32% que produjo tubérculos. Al final fueron seleccionados 19 clones (Tabla 8). La falta de producción de tubérculos en los genotipos más resistentes está indicando que estos genotipos utilizaron todo el agua en mantenerse turgentes y en total detrimento de la producción de tubérculos. Asimismo, se observó que la mayoría de estos genotipos alargaron el ciclo y recién se encontraban en la formación de tubérculos en el momento de la cosecha. Podría ser que la mayoría de estos genotipos sean tardíos o hayan alargado el ciclo debido a la sequía.

Análisis de recuperación en familias

La estimación de los componentes de varianza para la variable recuperación de familias (Tabla 9) indicó que varianza entre bloques ($\sigma^2_r = 0.004$), esto mostró que la siembra realizada en bloques con diferente nivel de iluminación si causó variación en las unidades experimentales o respuestas de las diferentes familias. Aquí se observó que el diseño de Bloques al azar fue apropiado para controlar la variación causada la iluminación entre bloques.

El análisis de varianza para recuperación de familias (Tabla 10), indicó que hubo diferencias significativas entre el grado de recuperación de las diferentes familias ($Pr < 0.01$). La familia 02-208 obtuvo el mayor grado de recuperación (0.21) respecto de las demás familias (1.56 y 2.72) tal como se observa en la Figura 3.

Análisis de recuperación en clones

La estimación de los componentes de varianza para la variable grado de recuperación en clones (Tabla 11) indica que existió varianza entre bloques ($\sigma^2_r = 0.001$), esto significa que la siembra realizada en bloques con diferente nivel de iluminación si causó variación en las unidades experimentales o respuestas de los diferentes clones. Nuevamente podemos apreciar que el modelo Bloques al azar si fue apropiado y necesario para controlar la variación causada por el diferente nivel de iluminación entre bloques.

El análisis de varianza para severidad de clones (Tabla 12), mostró que no existieron diferencias significativas entre los efectos de la recuperación sobre los diferentes clones ($Pr = 0.554$). Debido a que no fue posible seleccionar a los genotipos que mostraron mayor recuperación mediante contrastes de un grado de libertad.

Los 79 genotipos con menor grado de recuperación (0) fueron discriminados por sus valores de las cuatro variables altamente asociadas con la recuperación mediante el análisis de agrupamiento de Cluster método Ward (Fig. 4). El dendograma discriminó dos grupos claramente diferentes. El primer grupo tuvo 44 genotipos con altos valores para longitud de raíz, volumen radicular y eficiencia de uso de agua. De este grupo fueron seleccionados 16 clones con mayor número de tubérculos (Tabla 13).

Análisis de correlación

De acuerdo a los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 14) para las progenies de las nueve familias, la variable de respuesta severidad no estuvo asociada con ninguna de las otras variables de respuesta ($Pr > 0.01$). Esta falta de asociación con todas las variables pudo deberse a que la mayoría de estas variables, excepto *grado de postrado* y *WUE*, fueron evaluadas después de la cosecha debido a la necesidad de no perder los tubérculos de estos genotipos únicos. Este largo periodo de recuperación pudo haber eliminado todo efecto de la severidad en estas variables. Por otra parte, grado de postrado y *WUE* podrían no compartir ningún gen de severidad. La severidad en estas progenies podría estar relacionada con otros mecanismos no evaluados en este trabajo.

Los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 15) de la variable recuperación versus las variables: *grado de postrado*, *volumen de raíz*, *longitud de raíz* y *WUE* estaban altamente relacionadas. Esto significa que las variedades que presentaron menor grado de postrado o mayor turgencia, mayor volumen radicular, mayor longitud radicular y mayor eficiencia del uso del agua expresaron mayor recuperación. Los genes de recuperación podrían estar ligados a los de estas variables.

Análisis genético de la resistencia al estrés hídrico

Los componentes de varianza genética (Tabla 16) mostraron que los efectos aditivos y dominantes fueron importantes en la resistencia al estrés hídrico. Considerando el valor de gamma (γ), se observó que los efectos aditivos y dominantes son igualmente importantes (cerca de 1) en todas las variables a excepción de volumen de raíz y longitud de raíz, en dichas variables se observó que a pesar de que ambos efectos están presentes, los efectos dominantes tienen más peso.

Los resultados encontrados mostraron que la resistencia al estrés hídrico evaluado a través de la severidad, recuperación, turgencia y peso de raíz estaría controlada principalmente por genes con efectos aditivos. En el caso del volumen y longitud de raíz, la resistencia estaría controlada por genes con efectos dominantes. Dada la importancia de los efectos aditivos, las heredabilidades de severidad ($H^2 = 0,87$), recuperación ($H^2 = 0,79$) y turgencia ($H^2 = 0,80$), tuvieron las heredabilidades más altas. Esto implica que en la severidad el 87% del efecto lo contribuye los genes del genotipo y 23% es ambiental. En la recuperación el 79% del efecto se debe a los genes y 21% es ambiental y en la turgencia el 80% se debe a los genes y 20% es ambiental. Esto sugiere que estos caracteres son los más adecuados para la selección de genotipos portadores de genes de resistencia al estrés hídrico.

Aptitudes combinatorias

La Aptitud Combinatoria General (ACG) de los machos (Tabla 17) mostró que el genotipo YH x blb 21 presentó la menor ACG (-1,103); por tanto, indica que este progenitor es una buena fuente genética de genes de resistencia al estrés hídrico, similar situación ocurre con las variables turgencia (menor valor), volumen de raíz (mayor valor = 1,108), peso de raíz (mayor valor = 1,181) y longitud de raíz (mayor valor = 1,112), confirmando al progenitor mencionado como el mejor de todos los utilizados, con excepción del progenitor macho NKD-164 que mostró buena ACG para recuperación (menor valor = -0,184).

La Aptitud Combinatoria Específica (ACE) (Tabla 18), mostró que las mejores cruzas fueron las obtenidas entre G x NKD - 162 que mostró valores más bajos para turgencia (-0,109), más altos para volumen de raíz (0,666), peso de raíz (0,673) y longitud de raíz (0,540). Otra craza que se distingue por su ACE fue la obtenida entre Chulina 3 (phu) x YH x blb21 que mostró el valor más bajo para severidad (-0,642) y valores altos para volumen de raíz (0,595), peso de raíz (0,691) y longitud de raíz (0,670). Esto está indicando que los clones de estos cruzamientos fueron los que más tubérculos dieron, en cambio los demás no formaron tubérculos.

2. Resistencia genética en 16 clones de papa a sequía

La estimación de los componentes de varianza para las variables severidad y recuperación (Tabla 19) mostró que no hubo efecto de bloque ($\sigma^2_{blq}=0$) para ninguna de las dos variables, esto significa que el diseño bloques completos al azar no era necesario para controlar dicha variación. Entonces, el diseño se modificó a un completamente aleatorio.

El análisis de varianza para severidad de genotipos mostró que hubo diferencias significativas entre el efecto de la sequía sobre los diferentes clones ($Pr < 0,01$).

En la figura 5 se hizo una comparación de las severidades obtenidas para los 15 genotipos bajo cada uno de los tratamientos y se observó que los genotipos más resistentes fueron 00-210-19, 00-210-21, 00-210-27 y 00-210-40 ($< 0,5$). De entre los restantes 11 genotipos, cuatro obtuvieron severidades moderadas ($> 1,5$) y siete severidades elevadas ($> 1,9$).

El análisis de varianza para grado de recuperación de genotipos mostró que hubo diferencias significativas entre el efecto de la sequía sobre los diferentes clones ($Pr < 0,01$) (Tabla 19). Los genotipos 00-210-8, 00-210-19, 00-210-21, 00-210-27 y 00-210-40 obtuvieron los mayores grados de recuperación (5). Nueve de los genotipos obtuvieron grados de recuperación intermedios (2,5-4,5). Finalmente, el genotipo que menos recuperó fue el 02-210-30 (2,23) (Fig. 5).

El análisis de correlación para las variables severidad y grado de recuperación muestra una correlación negativa significativa y moderada ($r^2 = -0,463$) (Tabla 20). Esto significa que en general, aquellos genotipos que mejor recuperaron fueron aquellos que habían adquirido menor severidad. Las únicas excepciones fueron 02-210-8 y 02-210-26 que obtuvieron grados de recuperación altas después de haber obtenido severidades altas. Estos genotipos serían interesantes como fuentes de tolerancia a sequía para futuros programas de mejora genética.

En general observamos que los genotipos 00-210-19, 00-210-21, 00-210-27 y 00-210-40 confirmaron su resistencia a sequía en este segundo ensayo. Por otra parte, los genotipos 00-210-26 y 00-210-8 también confirmaron su susceptibilidad respecto al anterior ensayo. Finalmente, los genotipos 02-210-43, 08-203-12 y

08-209-63 expresaron mayor susceptibilidad que en el anterior ensayo. Por tanto, 00-210-19,00-210-21,00-210-27 y 00-210-40 son valiosas fuentes de resistencia para sequía y serán utilizadas en cruza para introducir los genes de resistencia en otros genotipos. Además, todos estos genotipos pertenecen a la familia 00-210 y el progenitor femenino de la familia 00-210 había probado poseer una excelente aptitud combinatoria general para resistencia a estrés hídrico en el anterior ensayo, lo cual se demuestra en su progenie.

3. *Resistencia genética de cultivares nativos de papa a sequía*

PRIMERA INVESTIGACIÓN

La estimación de los componentes de varianza para la variable severidad (Tabla 21) mostró variación ($\sigma^2_{\text{blq*seq}}=0.001$) en las unidades experimentales o respuestas de las diferentes accesiones entre las parcelas principales dentro de cada sistema de sequía, esto significa que el diseño de parcelas principales fue el apropiado para controlar dicha variación.

Asimismo, se observa que existieron diferencias significativas entre los efectos de las tres diferentes sequías sobre las diferentes variedades ($Pr < 0.01$). Siendo que la sequía de 20 días causó mayor severidad (3.64) que la sequía de 10 días (2.61) y esta última mayor severidad que el testigo (0), se podría aseverar que a mayor duración de la sequía mayor fue el efecto de ésta sobre las 16 variedades (Fig. 6).

El análisis de varianza (Tabla 21), también mostró que existió interacción sequía x cultivar. Esto significa que el efecto de cada tratamiento de sequía fue diferente en las diferentes variedades ($Pr < 0.01$). Esto mostró que los cultivares nativos de mayor resistencia y las de mayor susceptibilidad fueron diferentes en las dos diferentes sequías (10 y 20 días) (Fig. 7 y Fig. 8). Esto significaría que la resistencia a la sequía en estos cultivares dependería de la duración de la misma.

En la Figura 7 se hizo una comparación de las severidades obtenidas para los 16 cultivares con el tratamiento de 10 días y se observó que el cultivar Yana Qoyllu fue más resistente que 15 de los cultivares incluida el testigo Waych'a. Por otra parte, los cultivares Puka Qoyllu, Waych'a, Sakampaya y Candelero podrían ser consideradas como las más susceptibles para un periodo de 10 días sin riego en invernadero.

En el caso del tratamiento de 20 días sin riego (Fig. 8) se observó que los cultivares Yana Qoyllu, Yana Sutamari, Luki, Imilla Lunku, Huaycho Qoyllu, y Sakampaya fueron más resistentes que los cultivares Sani Imilla, Yana Ajanhuiri, Candelero y Pinta Boca. En el tratamiento de 20 días tuvimos a la variedad Sakampaya como más resistente; en cambio, en el tratamiento 10 días estaba entre las más susceptibles. Sin embargo, se observó (Fig. 9) que su severidad a los 20 días era estadísticamente igual a su severidad a los 10 días. Esto significa que a partir de un periodo de 10 días se mantiene estable en su grado de severidad al contrario de las otras variedades que expresaron mayor severidad a mayor grado de sequía. Esta variedad mostraría buena performance para periodos largos de sequía y no así para periodos cortos.

En la Figura 9 se hizo la comparación de medias entre las severidades de los tres niveles de sequía para cada cultivar. De este modo se pudo observar qué nivel de estrés causó mayor daño para cada cultivar. En el caso de los cultivares Yana Sutamari, Luki, Huaycho Qoyllu, Sakampaya, Puka Qoyllu y Waych'a se observó que las sequías de 10 y 20 días causaron el mismo efecto. Estos cultivares podrían ser interesantes como fuente de resistencia ya que muestran la misma respuesta a diferentes niveles de estrés. En cambio, para el resto de los cultivares, la sequía de 20 días causó mayor severidad que la de 10.

La estimación de los componentes de varianza para la variable recuperación de cultivares nativos (Tabla 22) mostró que existió variación ($\sigma^2_{\text{bloque*variedad}} = 0.005$) en las unidades experimentales o respuestas de las diferentes accesiones entre las parcelas principales dentro de cada sistema de sequía, esto significa que el diseño de parcelas principales fue el apropiado para controlar dicha variación.

El análisis de varianza para recuperación de nueve cultivares nativos (Tabla 22), indicó que no existieron diferencias significativas entre los efectos de las tres diferentes sequías sobre los diferentes cultivares ($Pr=0.01$).

El análisis de varianza para recuperación (Tabla 22), también mostró que las variedades presentaron diferentes grados de recuperación a la sequía ($Pr < 0.01$) y estas diferencias no ocurrieron de la misma manera con cada tratamiento de sequía ($Pr < 0.01$), lo cual significa que las variedades con mayor grado de recuperación y las de menor recuperación fueron diferentes para las sequías de 10 y 20 días.

En la Figura 10 se observan que el cultivar Puka Sutamari recuperó mejor que los cultivares Imilla Lunku, Pinta boca, Yana Ajanhuiri, Candelero, Yana Qoyllu, Sani Imilla, Sakampaya y Waych'a. Después de la sequía de 20

días, el cultivar Yana Qoyllu recuperó mejor que los cultivares Yana Ajanhuiri, Puka Sutamari, Sakampaya, Candelero, Sani Imilla y Pinta boca (Fig. 11).

En la Figura 12 se hizo la comparación de medias entre los grados de recuperación de los tres niveles de sequía para cada cultivar. De este modo se pudo observar en qué nivel de estrés se alcanzó una mayor recuperación para cada cultivar. En el caso de los cultivares Yuraj Qoyllu, Kellu Zapallo, Luki, Huaycho Qoyllu, Sakampaya, Puka Qoyllu y Puka Taca se observó que su recuperación de la sequía de 10 días fue sorprendente ya que al cabo de 5 días después del riego no había diferencias con el testigo. En el caso de la recuperación después de 20 días las diferencias con el testigo tampoco fueron tan marcadas para estos cultivares.

De acuerdo a los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 23) para la sequía de 10 días, la severidad estuvo muy alta y negativamente relacionada con el grado de recuperación. Esto significa que las variedades que tenían mayor severidad no pudieron obtener una buena recuperación; en cambio las variedades que tuvieron severidades menores recuperaron más fácilmente.

En el caso de la sequía de 20 días, la severidad se asoció alta y positivamente con el grado de recuperación (Tabla 24); esto indicaría que cuanto mayor fue la severidad, menor fue el grado de recuperación. Es lógico suponer que cuanto más severidad alcanzó una variedad le fue más difícil recuperarse. Por otra parte, el peso de follaje también se asoció alta y negativamente con el grado de severidad. Esto indica que las variedades que tenían menor peso de follaje obtuvieron mayor severidad y aquellas con mayor peso de follaje menor severidad. Esto podría explicarse debido a la mayor evapotranspiración en las plantas con mayor follaje que obliga a las raíces a buscar mayores cantidades de agua en el suelo y por tanto, mantener la turgencia. Esto se comprueba con la asociación negativa moderada que existió entre severidad y volumen radicular. A mayor volumen radicular existió menor severidad.

SEGUNDA INVESTIGACIÓN

El análisis de varianza (Tabla 25), mostró valores altamente significativos para todas las variables: severidad, materia seca del follaje, peso de raíz y volumen de raíz, sugiriendo que al menos un genotipo presentó un comportamiento diferente a los demás cuando éstos fueron sometidos a sequía durante 14 días. Por lo tanto, es posible encontrar genotipos con características favorables a sequía a través de cualquiera de estas variables.

Las correlaciones estimadas entre las variables Peso de raíz, volumen de raíz, severidad y materia seca del follaje (Tabla 26), mostró que la severidad por estrés hídrico, está relacionado inversamente con el contenido de materia seca en el follaje, como también con el peso y volumen de raíz, indicando que en una variedad nativa de papa sometida a sequía, cuanto mayor es la materia seca, peso de raíz y volumen de raíz, menor será la severidad registrada.

Severidad

La comparación de promedios de severidad (Fig. 13), muestran una reducida diversidad de respuestas favorables a la sequía, donde los genotipos Yana Runa y Qaqa Surimana presentan los valores de severidad más bajas, sugiriendo que estos genotipos expresan una resistencia moderada al estrés de 14 días, por tanto serían recomendables como fuente de genes o para la producción en zonas delimitado acceso al agua.

Materia Seca

La comparación de medias de la materia seca de follaje en 14 genotipos nativos de papa (Fig. 14), muestra una amplia diversidad de comportamientos frente al estrés, en donde el genotipo Qaqa Surimana presenta el contenido de materia seca más alto, sugiriendo que este genotipo tiene una mayor producción de biomasa bajo condiciones de estrés hídrico. Por lo que, se esperaría mayor rendimiento bajo estrés hídrico de 14 días.

Peso de raíz

La comparación de medias del peso de raíz en 14 genotipos nativos de papa (Fig. 15), no muestra diferencias importantes en general, excepto, el genotipo Yana Runa, éste presenta el peso de raíz más alto indicando que este genotipo presenta una mayor cantidad de raíces, los cuales le permitiría aprovechar mejor el agua disponible a su alrededor.

Volumen de raíz

La comparación de medias del Volumen de raíz en 14 genotipos nativos de papa (Fig. 16), demuestra que el genotipo Yana Runa presenta el volumen de raíz más alto (13.5 cc) sugiriendo que este genotipo maximiza la absorción de agua en el rizopiano, por lo que también se esperaría una mayor producción de tubérculos.

Conclusiones

Entre las nueve familias de cruzamientos inter-específicos evaluadas, 60 clones fueron seleccionados con resistencia al estrés hídrico luego de 10 días de tratamiento a los 76 días después de la siembra.

Hubo alta correlación de la variable recuperación versus las variables: *grado de postrado*, *volumen de raíz*, *longitud de raíz* y *WUE*. Esto indicó que los clones con menor grado de postrado o turgencia, mayor volumen radicular, mayor longitud radicular y mayor eficiencia del uso del agua (WUA) mostraron mayor recuperación.

Los componentes de varianza genética mostraron que los efectos aditivos y dominantes son importantes en la resistencia al estrés hídrico. Dada la importancia de los efectos aditivos, las heredabilidades de severidad, recuperación y turgencia, fueron las más altas (mayores al 80%). Esto sugiere que estos caracteres son los más adecuados para la selección de genotipos portadores de genes de resistencia a sequía. El genotipo macho YH x blb 21 mostró una buena ACG para los factores mencionados y las cruces A (blb x phu) x NKD – 164 y Chulina 3 (phu) x YH x blb21, mostraron la mejor ACE.

Al evaluar el efecto de la sequía en 15 genotipos se confirmó la resistencia y susceptibilidad a sequía halladas en el experimento anterior. Se seleccionaron los genotipos 00-210-19, 00-210-21, 00-210-27 y 00-210-40 por su resistencia a sequía y los genotipos 02-210-8 y 02-210-26 por su capacidad de recuperación.

En el ensayo con los cultivares nativos bajo dos niveles de estrés (10 y 20 días de sequía), la de 20 días causó mayor severidad en los cultivares evaluados. Los cultivares de mayor resistencia y los de mayor susceptibilidad fueron diferentes en las dos diferentes sequías sugiriendo que la resistencia a la sequía en estos cultivares dependería de la duración de la misma. A los 10 días el cultivar Yana Qoyllu fue el más resistente, y los cultivares Puka Qoyllu, Waych'a, Sakampaya y Candelero fueron los más susceptibles. A los 20 días de estrés Yana Qoyllu, Yana Sutamari, Luki, Imilla Lunku, Huaycho Qoyllu, y Sakampaya fueron resistentes, siendo Sakampaya el más resistente. Las sequías de 10 y 20 días causaron el mismo efecto en los cultivares Yana Sutamari, Luki, Huaycho Qoyllu, Sakampaya, Puka Qoyllu y Waych'a; lo cual sugiere que estos materiales podrían ser interesantes como fuente de resistencia ya que muestran la misma respuesta a diferentes niveles de estrés. El análisis de la capacidad de recuperación de las plantas bajo los dos regímenes de sequía mostró que a mayor fue la severidad, menor fue el grado de recuperación.

El análisis de resistencia genética de cultivares nativos de papa bajo estrés hídrico mostró que cuanto mayor es la materia seca, peso de raíz y volumen de raíz, menor será la severidad registrada.

Referencias

- Angulo, A.; Siles, M.; Ríos, R.; Gabriel, J. 2009. Caracterización de 118 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) del banco de germoplasma del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (Bolivia) para resistencia a sequía. *Revista de Agricultura* 42 (60): 25 – 31
- Blum, A. 1993. Selection for sustained production in water deficit environments. *Crop Sci.* 1: 343-347.
- Ceccarelli, S. 1984. Plant responses to water stress. *Gen. Agr.* 38:43-74.
- Gabriel, J.; Porco, P.; Angulo, A.; Magne, J.; La Torre, J.; Mamani, P. 2011. Resistencia genética a estrés hídrico en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16 (2): 173 – 208.
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE). 2008. Bolivia: Eventos adversos de origen natural reportados, según tipo de evento, 2002–2008. <http://www.ine.gov.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC80601.HTM>. Consulta: Febrero 2012.
- Magne, J.; R. Ríos; J. Gonzáles; M. Siles. 2009. Herencia de la resistencia genética de arveja (*Pisum sativum* L.) al anegamiento. *Revista de Agricultura, Bolivia* 47 (62): 44 – 51.
- Mamani, P. 2000. Effet de la secheresse sur six varietés de pomme de terre dans les andes boliviennes. Tesis M.Sc., Université Catholique de Louvain Faculte des Sciences Agronomiques, Bélgica. 43 p.
- Martinez-Garza, A. 1988. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, México D.F., México. 756 p.
- SAS. Institute Inc. 2004. User's guide. Statistics. Version 9.2. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Nueve tratamientos (familias de papa) provenientes de cruzamientos inter-específicos de papa

N°	Familia	Genealogía	
		Madre	Padre
1	02 - 208	YH x blb21	Chulina 3
2	02 - 214	NKD164	A (blb x phu)
3	02 - 210	YH x blb21	Bol 2835
4	08 - 212	NKD162	G (jam x gon)
5	08 - 216	NKD164	D (can x phu)
6	08 - 211	NKD162	D (can x phu)
7	08 - 209	NKD158	D (can x phu)
8	08 - 203	NKD158	Wilapala
9	08 - 207	NKD136	D (can x phu)

YH = Yema de huevo (*S. phureja*), blb = *S. bulbocastanum*, NKD 162 = *S. phureja*, NKD 164 = *S. stenotomum*, NKD 158 = *S. stenotomum*, NKD 136 = *S. stenotomum* x *S. goniocalyx*, Chulina = *S. phureja*, A= *blb* x *phu*, Bol 2835 = *S. andigena*, G = *jam* 27521.48 x *gon*703354, D = *can* 310956.8 x *phu*81, Wilapala = *S. andigena*. Fuente: Lopez *et al.* (2011), Gabriel *et al.* (2011)

Tabla 2. Genealogía de quince genotipos con resistencia a sequía

N°	Variedad	Padre	Madre
1	02-210-2	YH x blb21	Bol 2835
2	02-210-4	YH x blb21	Bol 2835
3	02-210-8	YH x blb21	Bol 2835
4	02-210-12	YH x blb21	Bol 2835
5	02-210-13	YH x blb21	Bol 2835
6	02-210-19	YH x blb21	Bol 2835
7	02-210-21	YH x blb21	Bol 2835
8	02-210-26	YH x blb21	Bol 2835
9	02-210-27	YH x blb21	Bol 2835
10	02-210-30	YH x blb21	Bol 2835
11	02-210-40	YH x blb21	Bol 2835
12	02-210-43	YH x blb21	Bol 2835
13	08-203-12	NKD158	Wilapala
14	08-209-63	NKD158	D (can x phu)
15	08-212-25	NKD162	G (jam x gon)

Tabla 3. Especies y ploidía de cultivares nativos de papa evaluados a sequía en invernadero. 2012

N°	Cultivar	Especie	Ploidía	Procedencia
PRIMERA INVESTIGACIÓN				
1	Candeleró	stn	2n=2x=24	Colomi
2	Huaycho Qoyllu	stn	2n=2x=24	Norte Potosí
3	Imilla Lunku	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
4	Kellu Zapallo	gon	2n=2x=24	Norte Potosí
5	Luky	juz	2n=3x=36	Norte Potosí
6	Pinta Boca	stn	2n=2x=24	Colomi
7	Puka Qoyllu	stn	2n=2x=24	Norte Potosí
8	Puka Sutamari	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
9	Puka Taca	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
10	Sakampaya	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
11	Sani Imilla	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
12	Yana Ajanhuiri	ajh	2n=2x=24	Norte Potosí
13	Yana Qoyllu	stn	2n=2x=24	Norte Potosí
14	Yana Sutamari	adg	2n=4x=48	Norte Potosí
15	Yuraj Qoyllu	stn	2n=2x=24	Norte Potosí
16	Waych'a	adg	2n=4x=48	Testigo
SEGUNDA INVESTIGACIÓN				
1	Waka chilena	adg	2n=4x=48	Colomi
2	Yana sutamari	adg	2n=4x=48	Norte de La Paz
3	Yurima	adg	2n=4x=48	Norte de La Paz
4	Chiara ajanhuiri	ajh	2n=2x=24	Norte de La Paz
5	Yana ajanhuiri	ajh	2n=2x=24	Norte de La Paz
6	Phureja	phu	2n=4x=48	Norte de La Paz

N°	Cultivar	Especie	Ploidía	Procedencia
7	Killu	stn	2n=2x=24	Norte de La Paz
8	Lila papa	stn	2n=2x=24	Colomi
9	Poliño	stn	2n=2x=24	Norte de La Paz
10	Qaqa surimana	stn	2n=2x=24	Norte de La Paz
11	Runtu papa	stn	2n=2x=24	Norte de La Paz
12	Yana runa	stn	2n=2x=24	Colomi
13	Waych'a	adg	2n=4x=48	Testigo

stn: *Solanum stenotomum*, gon: *S. goniocalyx*, ajh: *S. ajanhuiri*, juz: *S. juzepczukii*, adg: *S. tuberosum* ssp. *andigena*.

Tabla 4. Componentes de varianza para severidad en 9 familias de papa sometidas a sequía en pre-tuberización

Componentes de Varianza	Estimado
Bloques	0
Residual	0.129

Tabla 5. Análisis de varianza para severidad en 9 familias de papa sometidas a sequía en pre-tuberización.

F. V.	GL	F	Pr > F
Familia	8	22.08	<.0001

Tabla 6. Componentes de varianza para severidad en 563 clones de papa sometidos a sequía en pre-tuberización.

Componentes de Varianza	Estimado
Bloques	0
Residual	0.117

Tabla 7. Análisis de varianza para severidad en 563 clones de papa sometidos a sequía en pre-tuberización.

F. V.	GL	F	Pr > F
Clon	562	1.47	0.0026

Tabla 8. Clones, severidad, número y peso de tubérculos de diecinueve genotipos seleccionados por mayor resistencia después de sometidos a sequía en pre-tuberización.

N°	Clones	Severidad	No. tubérculos	Peso (g)
1	02-208-9	0	2	9.3
2	02-208-12	0	4	25.6
3	02-208-18	0	2	8.4
4	02-208-25	0	4	15.2
5	02-208-30	0	5	20.3
6	02-208-31	0	3	12.5
7	02-210-6	0	2	8.9
8	02-210-9	0	2	7.5
9	02-210-10	0	14	65.2
10	02-210-14	0	1	3
11	02-210-20	0	3	10.2
12	02-210-22	0	2	8.9
13	02-210-40	0	5	16.3
14	08-203-17	0	2	8.4
15	08-203-90	0	2	7.2
16	08-209-58	0	10	39.4
17	08-211-11	0	12	45.6
18	08-211-25	0	4	18.9
19	08-212-41	0	10	35.6

Tabla 9. Componentes de varianza para severidad en 9 familias de papa sometidas a sequía en pre-tuberización.

Componentes de Varianza	Estimado
Bloques	0.004
Residual	0.136

Tabla 10. Análisis de varianza para grado de recuperación en 9 familias de papa sometidas a sequía en pre-tuberización.

F. V.	GL	F	Pr > F
Familia	8	24.30	<.0001

Tabla 11. Componentes de varianza para severidad en 563 clones de papa sometidos a sequía en pre-tuberización.

Componentes de Varianza	Estimado
Bloques	0.001
Residual	0.191

Tabla 12. Análisis de varianza para grado de recuperación en 563 clones de papa sometidos a sequía en pre-tuberización.

F. V.	GL	F	Pr > F
Clon	562	12.4	0.554

Tabla 13. Grado de recuperación, postrado, volumen de raíz, longitud de raíz, WUE, número y peso de tubérculos de dieciséis genotipos de papa seleccionados por su mayor recuperación después de un estrés hídrico en pre-tuberización.

N°	Familia	Recuperación	Postrado	Volúmen de raíz (mL)	Longitud de raíz (cm)	WUE	Número de tubérculos	Peso de tubérculos (g)
1	02-208-18	0	1	60	42	0.79	2	8.4
2	02-208-25	0	1	60	49	0.81	4	18.9
3	02-208-30	0	1	50	42	0.82	5	20.3
4	02-208-31	0	1	60	40	0.79	3	12.5
5	02-210-37	0	1	50	43	0.74	10	40.8
6	02-210-40	0	1	55	48	0.79	5	16.3
7	08-203-42	0	1	60	50	0.79	4	12.5
8	08-203-46	0	1	55	40	0.79	3	9.6
9	08-203-67	0	1	50	33	0.89	5	29.3
10	08-203-101	0	1	70	53	0.89	5	19.6
11	08-209-20	0	1	50	35	0.59	10	34.5
12	08-209-25	0	1	70	59	0.79	2	8.9
13	08-212-35	0	1	55	48	0.32	5	20
14	08-212-41	0	1	65	49	0.39	10	35.6
15	08-212-76	0	1	55	42	0.59	4	9.6
16	08-216-36	0	1	50	45	0.39	2	8.5

Tabla 14. Coeficientes de correlación de Pearson para 9 familias de papa sometidas a estrés hídrico en pre-tuberización.

	Severidad	Postrado	Recuperación	Volúmen raíz (mL)	Longitud raíz (cm)	Materia seca raíz (g)	Número tubérculos	Peso tubérculos (g)	WUE
Severidad	1	0.40205	0.42712	-0.16024	-0.16353	-0.10877	0.11658	0.08138	-0.14983
		<.0001	<.0001	0.0003	0.0002	0.014	0.1733	0.3409	0.0004

Las variables en negrillas son las que mostraron mayor correlación.

Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson para 9 familias de papa sometidas a estrés hídrico en pre-tuberización.

	Severidad	Postrado	Recuperación	Volumen Raíz (mL)	Longitud Raíz (cm)	Materia seca Raíz	Número tubérculos	Peso tubérculos (g)	WUE
Recuperación	0.42712	0.69643	1	-0.71477	-0.65108	-0.4162	0.13086	0.06638	0.66814
*	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.1261	0.4375	<.0001

Severidad = 0 a 5, Recuperación = 0 a 5, Turgencia = 1 a 3. Las variables en negrillas son las que mostraron mayor correlación.

Tabla 16. Varianzas genéticas, heredabilidades e importancia de los efectos genéticos de la población bajo estrés hídrico a los 76 días después de la siembra. 2011.

Variables	σ_a^2	σ_d^2	h^2	H^2	γ
Severidad	4,11	3,73	0,46	0,87	0,95
Recuperación	0,74	0,56	0,45	0,79	0,87
Turgencia	0,12	0,09	0,46	0,80	0,87
Volumen raíz	1,25	0,04	0,40	0,41	0,17
Peso raíz	0,79	0,49	0,24	0,39	0,79
Longitud raíz	0,83	0,01	0,31	0,32	0,13

σ_a^2 = Varianza aditiva, σ_d^2 = Varianza de dominancia, h^2 = Heredabilidad en sentido estricto, H^2 = Heredabilidad en sentido amplio, γ = importancia de efectos genéticos (= aditiva y dominante son igualmente importantes, >1=aditivos importantes;<1 dominantes importantes)

Tabla 17. Aptitud combinatoria general (ACG) de los progenitores machos, estimadas bajo estrés hídrico. 2011.

Machos	ACG					
	Severidad	Recuperación	Turgencia	Volumen raíz (mL)	Peso raíz (g)	Longitud raíz (cm)
NKD136	0,287	-0,130	0,092	-0,395	-0,388	-0,307
NKD158	0,282	-0,111	0,049	-0,162	-0,211	-0,191
NKD162	0,203	-0,170	0,035	-0,053	-0,049	-0,223
NKD164	0,330	-0,184	0,061	-0,498	-0,533	-0,392
YHxblb21	-1,103	0,594	-0,238	1,108	1,181	1,112

Severidad = 0 a 5, Recuperación = 0 a 5, Turgencia = 1 a 3.

Tabla 18. Aptitud combinatoria específica (ACE) de los cruzamientos, estimadas bajo estrés hídrico. 2011.

Hembra x Macho	ACE					
	Severidad	Recuperación	Turgencia	Volumen raíz (mL)	Peso raíz (g)	Longitud raíz (cm)
D x NKD136	0,032	-0,014	0,010	-0,044	-0,043	-0,034
Wilapala x NKD158	-0,007	0,134	-0,072	0,538	0,495	0,257
D x NKD158	0,071	-0,163	0,093	-0,626	-0,581	-0,325
D x NKD162	0,237	-0,203	0,130	-0,754	-0,759	-0,608
G x NKD162	-0,174	0,174	-0,109	0,666	0,673	0,540
A x NKD164	0,310	-0,074	0,060	-0,447	-0,535	-0,578
D x NKD164	-0,246	0,045	-0,040	0,360	0,449	0,510
Bol 2835 x YHxblb21	0,705	-0,433	0,103	-0,683	-0,777	-0,739
Chulina3 (phu) x YHxblb21	-0,642	0,405	-0,082	0,595	0,691	0,670

Severidad = 0 a 5, Recuperación = 0 a 5, Turgencia = 1 a 3.

Tabla 19. Componentes de varianza de grado de severidad para 16 genotipos nativos de papa sometidos a tres niveles de sequia bajo invernadero.

F.V.	gl	C.M. Grado de Severidad	σ^2	C.M. Grado de Recuperación	σ^2
Genotipo	14	0,418		0,294	
Residual	45	0,047	0,047	0,004	0,004
R^2		0,734		0,962	
C.V.		16,149		3,028	

*= Significativo (Pr<0.05), **=Altamente significativo (Pr<0.01).

Tabla 20. Coeficientes de correlación de Pearson para 15 genotipos de papa sometidos a estrés hídrico en pre-tuberización. Año 2013

	GM	CR
GM	1	-0,463
CR		<0,01

GM = Grado de marchitez o severidad y CR = Capacidad de Recuperación o grado de recuperación.

Tabla 21. Componentes de varianza de grado de severidad para 15 cultivares nativos de papa sometidas a tres niveles de sequia junto al testigo Waych'a. Año 2012

F.V.	gl	C.M. Grado de Severidad
Bloque	2	0.062
Sequia	2	11.027**
cultivar	15	0.010**
Bloque*Sequia	4	0.033
Sequia*Cultivar	30	0.008**
C.V.		3.88
R ²		0.97

** Diferencias significativas a Pr<0.01

Tabla 22. Componentes de varianza de grado de recuperación para 15 cultivares nativos de papa sometidas a tres niveles de sequia junto al testigo Waych'a. Año 2012

F.V.	gl	C.M. Grado de recuperación
Bloque	1	43.246
Sequia	2	5411.390
Variedad	15	49.235**
Bloque*Sequia	2	36.793
Sequia*Variedad	30	36.610**
C.V.		11.848
R ²		0.925

** Diferencias significativas a Pr<0.01

Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson para 12 cultivares nativos de papa sometidas a 10 días de sequía. Año 2012

	S	R	VR	PF	PR
S	1	-0.899 <.0001	-0.2743 0.0026	-0.3824 <.0001	-0.2570 0.005
R	-0.899 <.0001	1	0.3930 0.0002	0.2719 0.0113	0.2739 0.0107

S=Severidad, R=Recuperación, VR=Volúmen de raíz, PR=Peso de raíz (g), PF=Peso de follaje (g),

Tabla 24. Coeficientes de correlación de Pearson para 12 cultivares nativos de papa sometidas 20 días de sequía. Año 2012

	S	R	VR	MSR	MSF
S	1	-0.6751 <.0001	-0.4107 <.0001	-0.7475 <.0001	-0.2301 0.0194
R	-0.6751 <.0001	1	0.2537 0.0191	0.4189 <.0001	0.2128 0.052

S=Severidad, R=Recuperación, VR=Volúmen de raíz, PR=Peso de raíz (g), PF=Peso de follaje (g).

Tabla 25. Cuadrados medios de severidad, Materia seca, Peso de raíz y Volumen de raíz de 13 genotipos nativos de papa y un testigo sometidos a 14 días de sequía al inicio de tuberización bajo un diseño completamente aleatorio. Año 2012

FV	GL	Severidad	Materia seca follaje	Peso raíz	Volumen raíz
Genotipos	13	4960.71**	2.60**	0.73**	0.51**
Error	30	728.29	0.56	0.19	0.07
R2		0.74694	0.49	0.45	0.6
CV		22.50579	27.57	26.03	36.03

** Significativo al 99%

Tabla 26. Correlación fenotípica de Peso de raíz, Volumen de raíz, Severidad y Materia seca de 14 variedades de papa nativa sometidos a 14 días de sequia. Año 2012

	Peso raíz	Severidad	Materia seca del follaje
Volumen raíz	0.854**	-0.449**	0.552**
Peso raíz		-0.524**	0.4487**
Severidad			-0.689**

Figura 1. Severidad de daño por sequía en nueve familias de papa. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales al nivel de 0.01 de probabilidad.

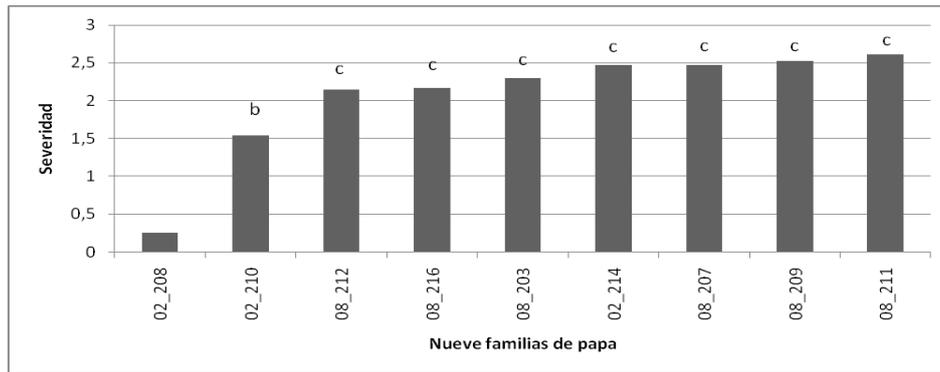


Figura 2. Severidad de daño por sequía en 563 clones de papa sometidos a sequía en pre-tuberización. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales al nivel de 0.01 de probabilidad.

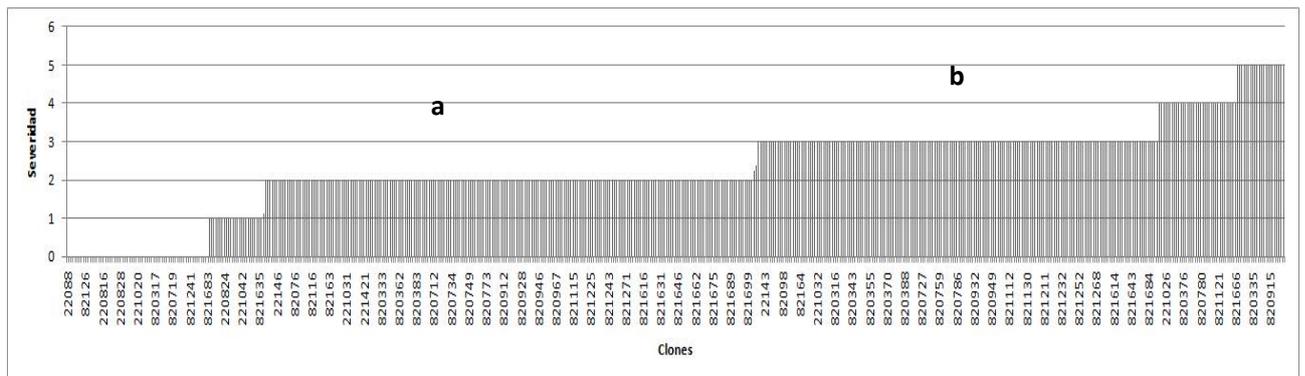


Figura 3. Grado de recuperación de daño por sequía en nueve familias de papa sometidas a sequía en pre-tuberización. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales al nivel de 0.01 de probabilidad.

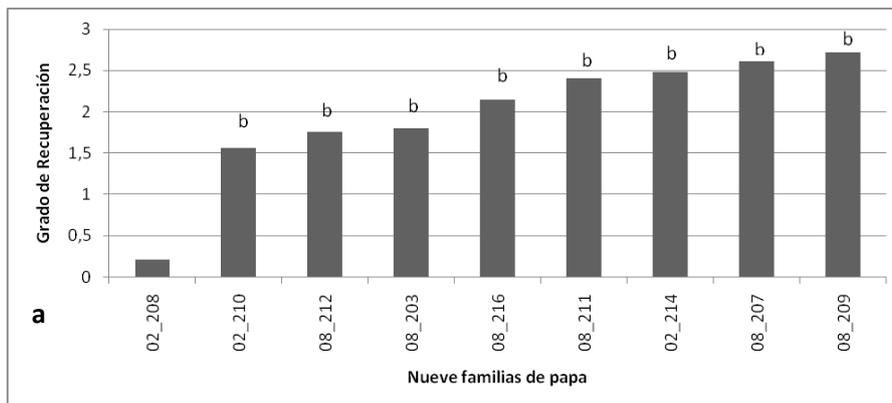


Figura 4. 79 clones de papa agrupados por mayor grado de recuperación, mayor longitud de raíz, mayor volumen de raíz, mayor eficiencia del agua y menor grado de postrado (mayor turgencia).

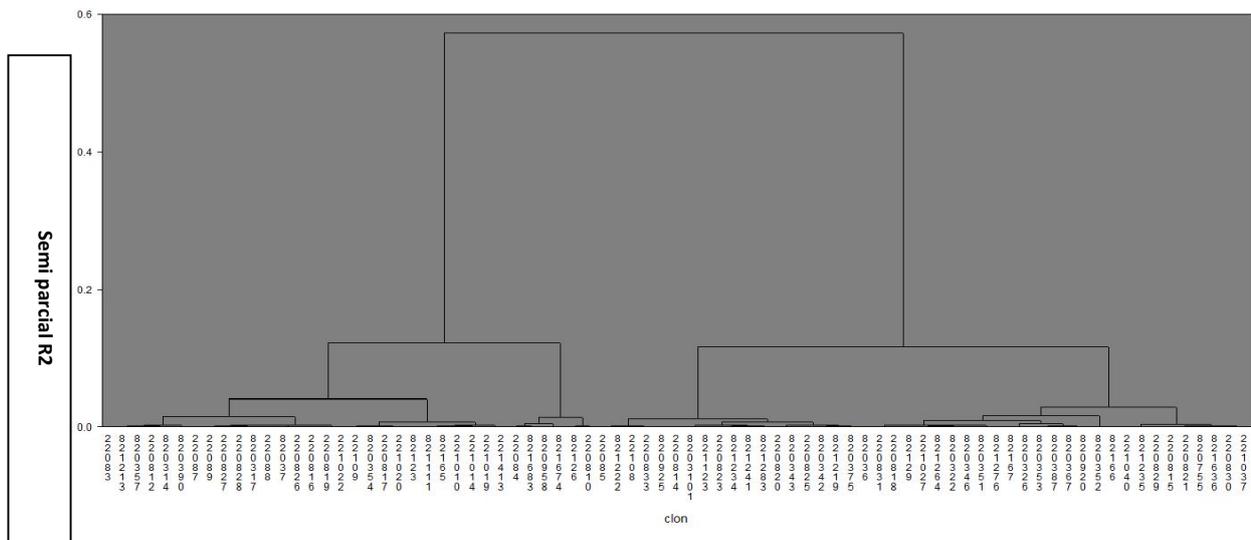


Figura 5. Grados de severidad y recuperación para 15 genotipos de papa con resistencia a sequia sometidos a sequia durante la pre tuberización en invernadero.

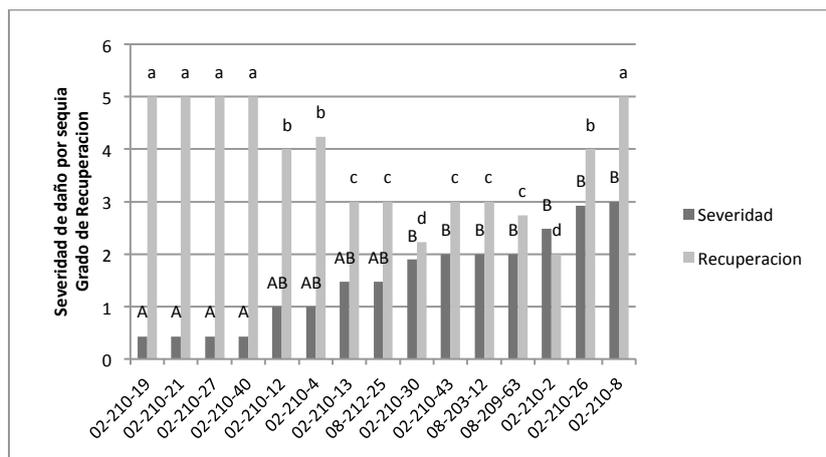


Figura 6. Grado de severidad para tres diferentes niveles de sequía aplicados en 16 cultivares nativos de papa junto al testigo Waych' a. Año 2012

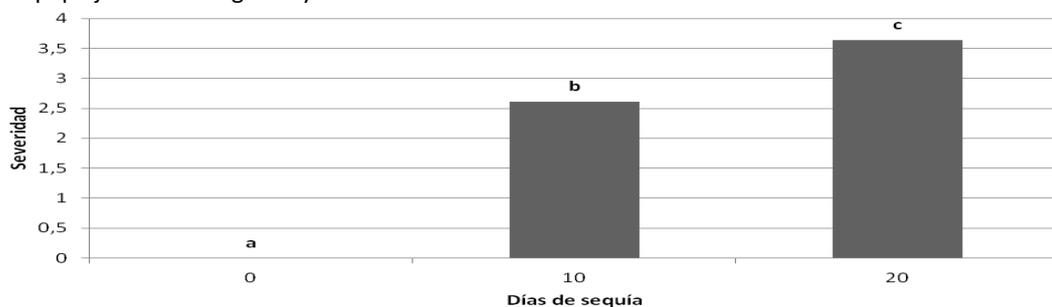


Figura 7. Grado de severidad para 15 cultivares nativos sometidos a 10 días de sequía junto al testigo Waych' a. Año 2012

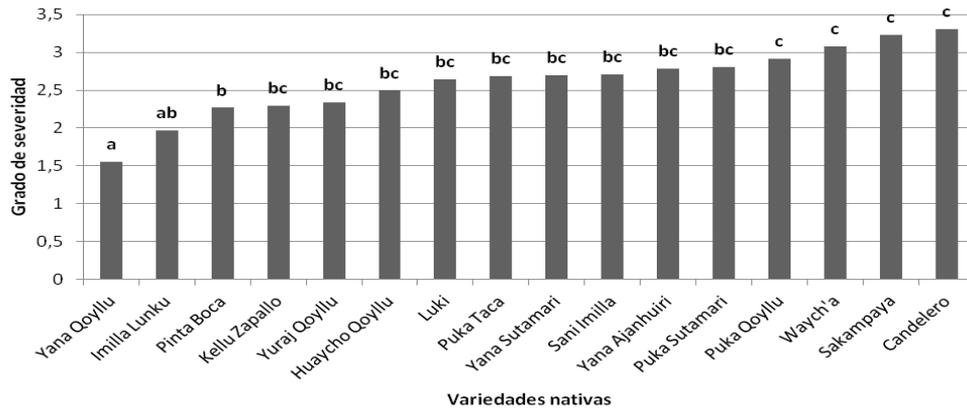


Figura 8. Grado de severidad para 15 cultivares nativos sometidas a 20 días de sequía junto al testigo Waych'a. Año 2012

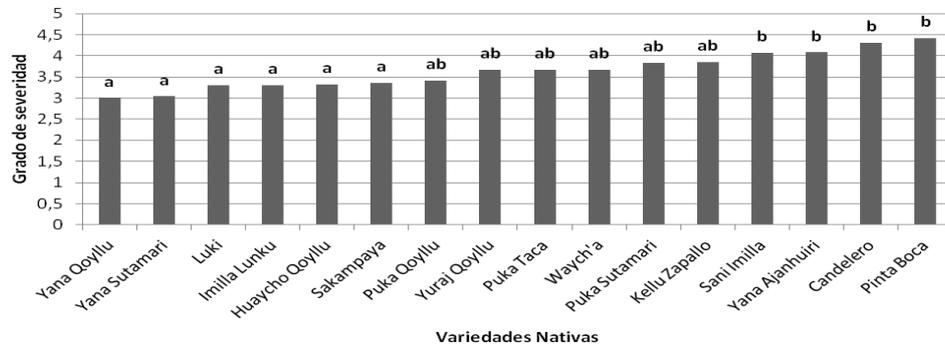


Figura 9. Grados de severidad para 15 cultivares nativos sometidas a tres diferentes tratamientos de sequía junto al testigo Waych'a. Año 2012

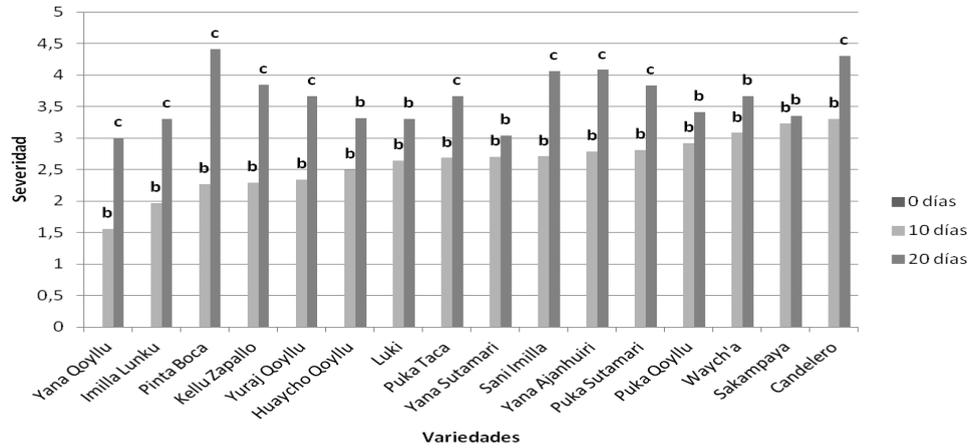


Figura 10. Grado de recuperación para 15 cultivares sometidos a 10 días de sequía junto al testigo Waych'a. Año 2012

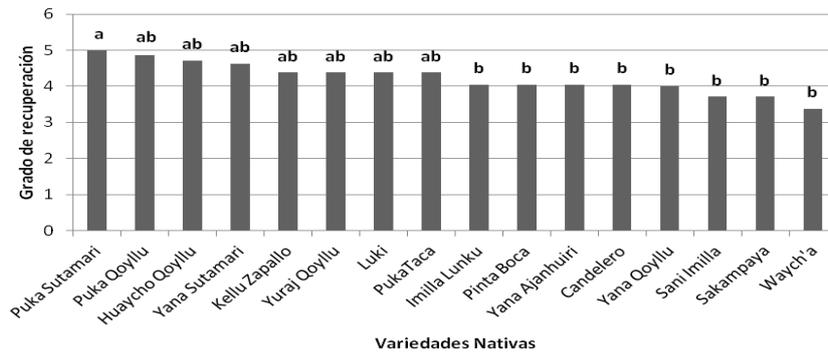


Figura 11. Grado de recuperación para 15 cultivares sometidos a 20 días de sequía junto al testigo Waych'a. Año 2012

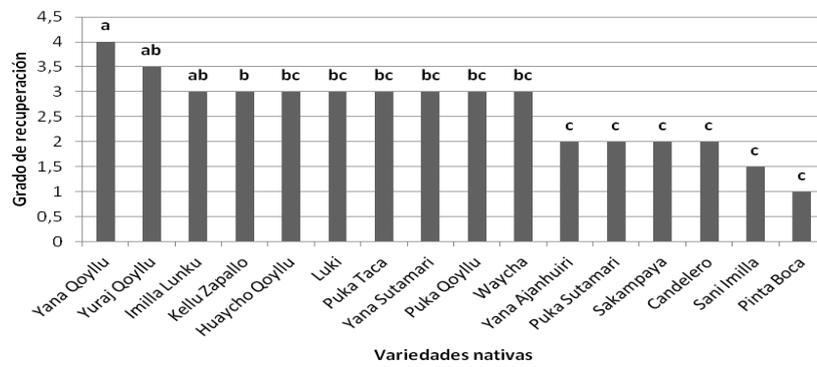


Figura 12. Grados de recuperación para 15 cultivares nativos sometidos a tres diferentes tratamientos de sequía junto al testigo Waych'a. Año 2012

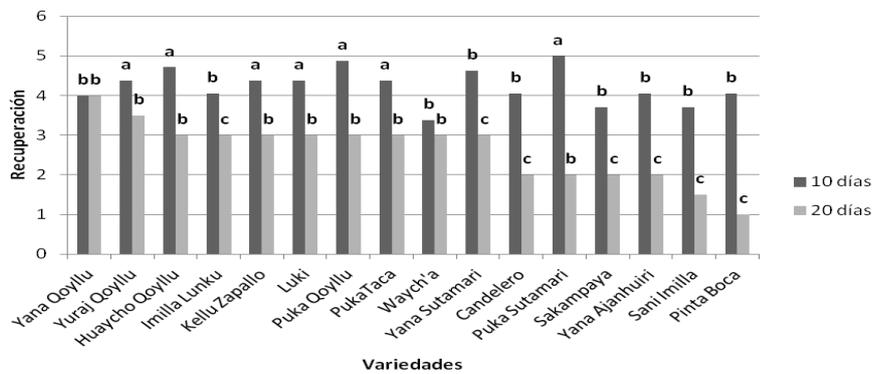


Figura 13. Severidad de 13 variedades de papa nativa sometido a 14 días de sequía. Año 2012

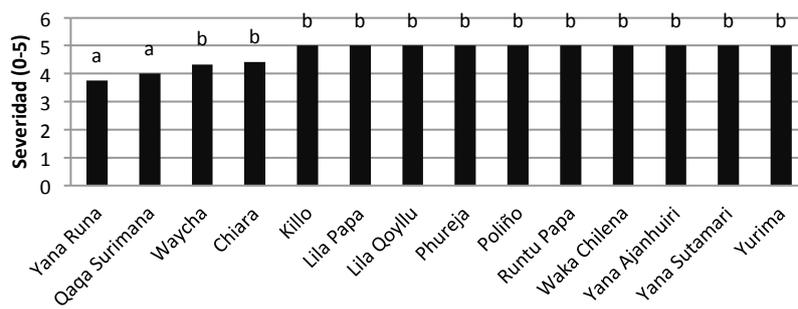


Figura 14. Comparación de medias de Materia seca del follaje de 13 variedades de papa nativa sometido a 14 días de sequía. Año 2012

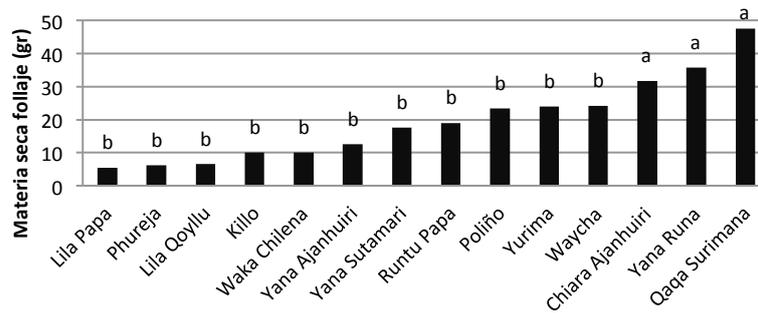


Figura 15. Comparación de medias del peso de raíz de 13 variedades de papa nativa sometido a 14 días de sequía

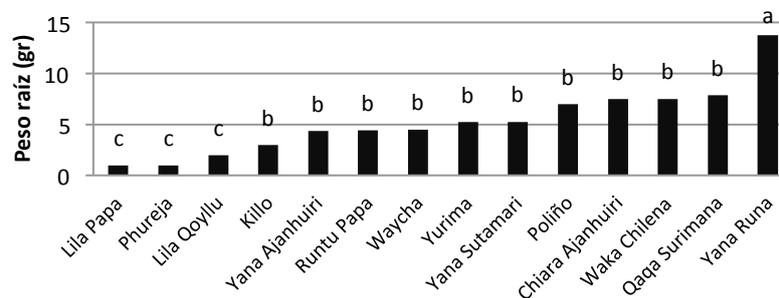
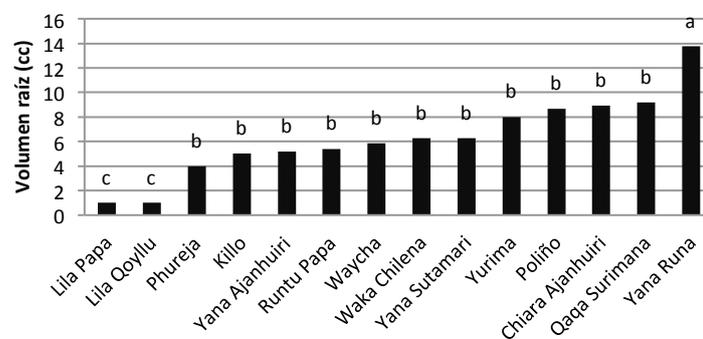


Figura 16. Comparación de medias del volumen de raíz de 13 variedades de papa nativa sometido a 14 días de sequía



Avances en el programa de mejoramiento genético de papa para estreses abióticos del INIA-Perú

Noemí Zúñiga¹⁰

Compendio

De acuerdo con los resultados de identificación de variedades nativas con resistencia a sequía realizado en condiciones ex situ y resistencia a heladas realizado en campo, en interacción con los conocimientos de los productores en los lugares en estudio se realizó los planes de cruzamientos bajo diseños genéticos I y II de Carolina del Norte. Diseños que nos permiten usar las variedades identificadas como hembras y machos en forma repetida, debido a que por la naturaleza poliploide de la papa y barreras de esterilidad e incompatibilidad que generan fenómenos genéticos que interfieren el apareamiento y entrecruzamiento entre los cromosomas homólogos y la consecuente relación fertilización – fecundación, no fue posible obtener semilla botánica en todos los cruzamientos programados.

La implementación del proyecto, ha permitido analizar y motivar al equipo del Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosas – Papa (PNIRyT), para la elaboración del “Plan Estratégico del Programa de Mejoramiento Genético de Papa Peruano 2013 al 2023” para los principales problemas bióticos y abióticos identificadas y priorizadas en las primeras reuniones. Se cuenta con la participación directa de diferentes científicos de varias instituciones en el ámbito del la papa del Perú, quienes están revisando el documento para su implementación. Los avances alcanzados con el presente proyecto son una contribución al Plan.

Introducción

La papa en Perú por el área cultivada ocupa el tercer lugar (319,145 ha), después del maíz (472,968 ha) y arroz (357,883 ha), pero primero por su contribución al Producto Bruto Interno Agropecuario (8.0%) y al Producto Bruto Interno Agrícola (14.1%). El maíz y el arroz aportan al PBI Agropecuario solamente con 4.6 y 5.3 %, y al PBI Agrícola con 8.1 y 9.3%, respectivamente. El rendimiento promedio nacional de papa es bajo comparado con los países de América Latina (14.5 t/ha) y otros países desarrollados (45 t/ha). Los factores que afectan la productividad y calidad comercial de la papa se pueden agrupar en geográficos (topografía accidentada), climáticos (presencia de heladas y sequía), edáficos (suelos superficies, pobres y con problemas de erosión), socio-económicos (escaso crédito agrícola, altos costos de producción, predominancia de minifundio y bajos niveles educativos del productor) y problemas técnicos (fitosanitarios, escasez de semilla de calidad y inadecuado manejo agronómico, entre otros)

Varios de los factores que inciden negativamente en la producción, productividad y rentabilidad de la papa pueden solucionarse con el desarrollo de nuevas variedades que hagan frente a los factores bióticos y abióticos que en la actualidad se intensifican como efectos del cambio climático.

El presente proyecto constituye una contribución importante para la implementación del Programa de Mejoramiento Genético de la Papa Peruano. Las acciones previstas en el proyecto como evaluación de variedades, cruzamientos, y la aplicación de metodologías consensuadas con los socios, son un inicio y una base para fortalecer la utilización de la colección de papa mantenida por el INIA del Perú.

Materiales y métodos

1. *Identificación de genotipos de variedades cultivadas y silvestres extremos para tolerancia a sequía y heladas en campo*

Se instalaron 50 variedades nativas del Banco de Germoplasma del INIA-Perú, durante dos campañas agrícolas, con el objetivo de evaluar la capacidad de respuesta a los efectos de cambio climático, específicamente a heladas y sequía. En la campaña agrícola 2011-2012, el ensayo fue instalado en Huasicancha, cuyos datos son los siguientes:

Distrito	:	Huasicancha
Provincia	:	Huancayo
Departamento	:	Junín
Altitud	:	3 900 m.
Longitud	:	75°27'561"
Latitud	:	12°33'247"

¹⁰ Investigadora especialista en fitomejoramiento del INIA-Perú

Se realizó la evaluación participativa de los caracteres morfológicos. Los productores de la zona identifican a una variedad con tolerancia/resistencia a heladas y sequía aquella variedad que presenta un desarrollo precoz, desde la emergencia, una planta vigorosa con tres a cuatro tallos por planta, hojas anchas, de color verde oscuro, así mismo mencionaron como carácter importante para la sobrevivencia y recuperación a la sanidad de la planta.

Durante las dos campañas agrícolas que se efectuó el ensayo no se presentaron descensos drásticos de temperatura que permitan evaluar el comportamiento de resistencia a heladas, así mismo la precipitación fue oportuna, continua, no presentándose períodos de sequía.

2. Cruzamientos

Se planificaron cruzamientos bajo diseños genéticos I y II de Carolina del Norte, utilizando genotipos de variedades nativas de papa identificados en ensayos a sequía y heladas (Tabla 1). Los cruzamientos fueron realizados entre variedades nativas resistentes, con variedades nativas de mediana resistencia y con clones resistentes a otros patógenos y variedades comerciales de uso frecuente para recombinar caracteres y seleccionar progenies que a futuro nos permitan obtener nuevas variedades.

Para efectuar los cruzamientos se acondicionó un invernadero, se usó dos metodologías para obtener las inflorescencias:

1. Se colectó inflorescencias de los ensayos y germoplasma de campo, las flores fueron mantenidas en botellas que contenían solución nutritiva y fungicidas para proteger la sanidad hasta la obtención de bayas.
2. Dos tubérculos de cada variedad nativa e identificada como progenitor se sembró en macetas para obtener la planta en un buen estado para facilitar abundante floración.

Evaluaciones realizadas:

Cruzamiento:

- Polen: Viabilidad de polen y germinación para determinar la fertilidad masculina
- Caída de flores, en las plantas o inflorescencias destinadas a ser hembras
- Fecha de cruzamiento
- Número de flores cruzadas
- Fecundación, cruzamientos exitosos, desarrollo de la baya
- Número de bayas
- Número de semillas por baya

Obtención de progenies – plantas

- Siembra de semillas
- Porcentaje de germinación
- Número de plantas desarrolladas
- Transplante a macetas

En otro experimento para la determinación de componentes de variancia genética para resistencia a heladas y sequía, se utilizó la semilla botánica de los cruzamientos dirigidos realizados bajo el diseño genético II de Carolina del Norte.

En el invernadero se realizaron los almácigos de la semilla botánica de los siguientes cruzamientos:

Macho 1 393077.54	X	Hembra 1 Llunchuipa Mundana Hembra 2 Huamanpa Human Hembra 3 Puka Tarma Hembra 4 Yuracc Piña
Macho 2 CAJ 10.4	X	Hembra 1 Llunchuipa Mundana Hembra 2 Huamanpa Human Hembra 3 Puka Tarma Hembra 4 Yuracc Piña

Las plantas obtenidas fueron trasplantadas en macetas hasta el momento de inicio de floración. En ese momento fueron expuestas al medio ambiente para ser evaluadas por su capacidad de resistencia al frío. La población en estudio consistió en 20 plantas por cruzamiento/familia. La localidad donde el experimento tuvo

lugar fue la EEA Santa Ana del INIA-Perú, cuya información climática (temperatura máxima y mínima, y precipitación) se presenta en la Tabla 2.

Durante el mes de junio de 2013 se produjo descensos de temperatura los días 10, 20 y 21 a -0.4°C , que no afectó a las plantas. Los días 27, 28, 29 y 30 la temperatura descendió a -2.0 , -4.4 , -4.8 , -2.0 que si afectó al 70% de plantas quedando con muy pocos daños aproximadamente 30% de las plantas expuestas.

Resultados

1. *Identificación de genotipos de variedades cultivadas y silvestres extremos para tolerancia a sequía y heladas en campo*

La evaluación del vigor, altura de planta y ataque de manchas foliares de cada variedad en el ensayo realizado con 50 variedades nativas de la colección de papa del INIA, se presenta en la Tabla 3. En forma general el vigor de las plantas fue muy aceptable con valores desde 6 a 9, que tipifican a plantas de buen vigor, siendo el valor de 9 que califica a una planta exuberante. En cuanto a la altura de planta esta varió desde 32.5 cm. de la variedad Caramelo hasta a una altura mayor a 90 cm, de la variedad Matucana. En relación con la presencia de manchas foliares, hubo una presencia desde 7.5% a 12.5% de daño del follaje, la reacción de la planta a la presencia del patógeno es muy importante evaluar debido a que se están produciendo cambios en la humedad y temperatura ambiental como efectos del cambio climático.

En la Tabla 4 se presenta, el rendimiento agronómico de las variedades nativas en la localidad de Huasicancha, tal como se observa, 11 variedades obtuvieron rendimientos mayores a 20 t/ha, sobresaliendo las variedades Matucana que obtuvo 31.8 t/ha y Yana Canteña que ocupó el segundo lugar con 30 T/ha. Rendimientos bastante buenos para el cultivo de la papa sobre 3,800 metros de altitud. No se presentó heladas durante la campaña agrícola, solo hubo un veranillo de 15 días en el mes de noviembre del 2011 que no afectó drásticamente en el desarrollo de las plantas.

En cuanto al tamaño de los tubérculos el mayor número de tubérculos fue de categoría tercera, tubérculos de tamaño pequeño.

2. *Cruzamientos*

De acuerdo con los resultados de identificación de variedades nativas con resistencia a sequía realizado en condiciones *ex situ* y resistencia a heladas realizado en campo, en interacción con los conocimientos de los productores en los lugares en estudio se realizó los planes de cruzamientos bajo diseños genéticos I y II de Carolina del Norte. El objeto fue la obtención de semilla botánica para estudios posteriores.

A la fecha del presente informe, el estudio sigue en proceso y se viene realizando con 20 plantas por cruzamiento (Fig. 1).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de identificación de variedades nativas con resistencia a sequía realizado en condiciones *ex situ* y resistencia a heladas realizado en campo, en interacción con los conocimientos de los productores en los lugares en estudio se realizó los planes de cruzamientos bajo diseños genéticos I y II de Carolina del Norte. Diseños que nos permiten usar las variedades identificadas como hembras y machos en forma repetida, debido a que por la naturaleza poliploide de la papa y barreras de esterilidad e incompatibilidad que generan fenómenos genéticos que interfieren el apareamiento y entrecruzamiento entre los cromosomas homólogos y la consecuente relación fertilización – fecundación, no fue posible obtener semilla botánica en todos los cruzamientos programados.

La implementación del proyecto, ha permitido analizar y motivar al equipo del Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosas – Papa (PNIRyT), para la elaboración del “Plan Estratégico del Programa de Mejoramiento Genético de Papa Peruano 2013 al 2023” para los principales problemas bióticos y abióticos identificadas y priorizadas en las primeras reuniones. Contamos con la participación directa de Científicos de CIP, Representantes de la Universidad Agraria La Molina, Universidad Técnica de Cajamarca, Universidad nacional del Centro del Perú, ONG’s, Empresas privadas y en forma indirecta con Profesionales de Programas de Papa internacionales del proyecto “Ampliando la Frontera Agrícola de la Papa para disminuir los efectos del cambio climático – CLIPAPA”.

El documento elaborado y revisado al interior del PNIRyT, se encuentra en revisión por profesionales de las instituciones arriba mencionadas.

ANEXOS. Tablas y Figuras

Tabla 1. Recombinación genética entre variedades y cantidad de semilla obtenida. INIA-Perú, 2012.

CRUZAMIENTOS			Nº DE SEMILLA BOTANICA
Progenitor femenino	X	Progenitor masculino	
Perricholi	X	Peruanita	12
Caj 10.4	X	Peruanita	18
399064.5	X	Peruanita	15
387096.2	X	Peruanita	6
MuruVacapa	X	Peruanita	350
Huayro Negro	X	Peruanita	480
96CLB1.8	X	Peruanita	14
PukaRuntush	X	Peruanita	5
Wanquita	X	Peruanita	18
396,012,266	X	Yana Huancuy	250
399077.59	X	Yana Huancuy	400
RojaAyacuchana	X	Yana Huancuy	7
387096.12	X	Yana Huancuy	1000
Wanquita	X	Yana Huancuy	200
Serranita	X	Yana Huancuy	20
Perricholi	X	Yana Huancuy	15
395111	X	Talmish	180
39905.2	X	Talmish	30
395111.12	X	Talmish	160
860501	X	Chaulina	3
399067.4	X	Chaulina	25
Cceccorani	X	Chaulina	510
Wanquita	X	Chaulina	16
703248	X	Huachos	25
Chucmarina	X	Murunqui	15
399067.14	X	Duraznillo	250
302231.12	X	Duraznillo	450
399077.59	X	MuruAulli	900
Cceccorani	X	Huayro Rojo	70
399064.5	X	Huayro Rojo	1
305112.19	X	Huayro Rojo	50
CAJ.0049	X	Huayro Rojo	20
AmarillaChinchay	X	Sicaina	20
399058.12	X	Yana Toro	8
399076.12	X	PukaTarma	10
392173.12	X	PukaTarma	10
RojaAyacuchana	X	MuruVacapaCcallum	5
Yungay	X	MuruVacapaCcallum	50
RojaAyacuchana	X	CceccoraniSuytu	2
Yungay	X	MuruHuecco	20
Amarilis	X	MuruHuecco	5
Wanquita	X	Amarilla del Centro	3
LlunchuipaMundana	X	393077.54	70
Huamanpa Human	X	393077.54	68
PukaTarma	X	393077.54	65
Yuracc Piña	X	393077.54	110
LlunchuipaMundana	X	CAJ 10.4	3
Huamanpa Human	X	CAJ 10.4	50
PukaTarma	X	CAJ 10.4	3
Yuracc Piña	X	CAJ 10.4	30

Tabla 2. Datos climatológicos registrados en la Estación Meteorológica de la EEA Santa Ana, INIA-Perú.

Mes /Día	Promedio T° Máxima	Promedio T° mínima	Precipitación
2012			
Diciembre	18.64	8.0	181.4
2013			
Enero	19.7	6.93	159.8
Febrero	19.2	7.27	135.2
Marzo	19.6	6.8	81.1
Abril	21.49	3.46	49.6
Mayo	21.11	2.21	5.0
Junio	20.08	1.93*	5.0

Tabla 3. Comportamiento de las variedades nativas de la colección de papa del INIA evaluadas en la localidad de Huasicancha. 2011 – 2012.

VARIETADES NATIVAS	Vigor	Altura	Manchas foliares
Matucana	9	95.5	0
Yana Canteña	8	60	2.5
Papa Negra	8	61	0
Huayro Rojo	8.5	55.5	2.5
Yana Murunqui	9	48.5	2.5
Ishcopuro	7.5	56	2.5
Yana Tullo	8.5	46	5
Asno Zapato	5.5	51	0
Sumacc Soncco	8	61	0
Niña Papa	7	47	2.5
Yana Palta	8.5	52.5	5
Huamantanga	6	41.5	5
Huayta Chuco	7.5	56	7.5
Pumapa Maquin Negro	7	48.5	2.5
Yana Tarma	8	51.5	7.5
Socco Huaccoto	7.5	27.75	0
Yana Piña	8	57	2.5
Pumapa Maquin Rojo	6.5	51	2.5
Larga Negra	6.5	26.85	2.5
Tukupá Ñahuin	6	38.5	5
Huayro Macho	7.5	47.5	5
Acco Suyto	8.5	34.5	5
Tumbay Ojo Rosado	6.5	57	0
Yuracc Runtush	6	25.55	5
Liulishpa Runtun	6	40	5
Yuracman Rojo	7.5	54.5	5
Añaspa Huaccran	5.5	37.5	0
Yuracc Pepino	8	50	10
Papa Morada	8	32	12.5
Corcinada	5.5	44.5	2.5
Cacho de Toro	7.5	57	0
Yana Huayro	7.5	51	5
Huayta Vaso	8	58	2.5
Cceccorani	7	25.85	2.5
Lengua de vaca	7	38.5	5
Santo Domingo	5.5	49.5	2.5
Amarilla	6.5	41.5	5
Yana Manua	7	49	5
Amarilla Limeña	6.5	53.5	0
Papa Negra	6.5	41	7.5
Peruanita	9	44.5	5
Yana Huancuy	7	43	2.5

VARIETADES NATIVAS	Vigor	Altura	Manchas foliares
Vacapa Ñuñun	8	40.5	5
Yana Pashón Suyto	6.5	37	5
Yutupa Runtun	6	39.5	2.5
Capquiash	7	47	2.5
Ruyro Puccya	7	47	0
Muru Huayro	6	56	7.5
Yana Shiri	7.5	45	11
Caramelo	6.5	32.5	7.5

Tabla 4. Evaluación agronómica de las variedades de la colección de papa del INIA evaluadas en la localidad de Huasicancha. 2011 – 2012.

VARIETADES NATIVAS	Categoría Primera		Categoría Segunda		Categoría Tercera		Rdto t/ha
	Nº	Peso	Nº	Peso	Nº	Peso	
Matucana	43	4.75	94	4.5	51	3.45	31.8
Yana Canteña	43	5.25	83	5	67	1.75	30.0
Papa Negra	39	5.75	56	3.5	27	2.1	28.4
Huayro Rojo	42	7	52	3.5	10	0.25	26.9
Yana Murunqui	57	6.55	42	3.2	28	0.55	25.8
Ishcopuro	77	3.85	125	4.1	60	1.9	24.6
Yana Tullo	36	3.9	59	4	56	1.95	24.6
Asno Zapato	26	3.5	51	3	50	2.5	22.5
Sumacc Soncco	30	3.75	43	3.25	53	2	22.5
Niña Papa	60	3	56	2.75	110	3	21.9
Yana Palta	52	3.25	80	2.35	110	3	21.5
Huamantanga	32	4.1	46	2.6	33	1.25	19.9
Huayta Chuco	26	3.25	45	3	38	1.35	19.0
Pumapa Maquin Negro	28	2.6	46	2.25	119	2.6	18.6
Yana Tarma	30	3	33	2.4	56	1.9	18.3
Socco Huaccoto	19	2.1	31	3.6	91	1.5	18.0
Yana Piña	33	3.6	36	2.5	27	1	17.8
Pumapa Maquin Rojo	36	2.75	46	2.25	46	1.85	17.1
Larga Negra	22	3	47	2.75	53	1.075	17.1
Tukupá Ñahuin	33	3.75	39	1.7	43	1	16.1
Huayro Macho	20	1.85	38	2	40	2.5	15.9
Acco Suyto	24	2.6	46	2.25	39	1.25	15.3
Tumbay Ojo Rosado	15	2.25	33	2.25	47	1.5	15.0
Yuracc Runtush	25	2.5	32	2	46	1.5	15.0
Liulishpa Runtun	27	3	41	2	33	0.8	14.5
Yuracman Rojo	27	4	31	1.5	19	0.25	14.4
Añaspa Huaccran	34	2.75	39	2	24	0.95	14.3
Yuracc Pepino	19	1.75	50	2.1	42	1.75	14.0
Papa Morada	45	1.6	167	2.75	119	1.25	14.0
Corcinada	45	2.5	48	1.5	50	1.3	13.3
Cacho de Toro	31	3.5	28	1.5	16	0.3	13.3
Yana Huayro	33	3	51	1.75	46	0.55	13.3
Huayta Vaso	27	3	41	2	11	0.1	12.8
Cceccorani	20	1.75	31	1.5	44	1.75	12.5
Lengua de vaca	20	2	29	1.65	44	1.25	12.3
Santo Domingo	13	1.5	30	2	35	1.25	11.9
Amarilla	35	2.25	37	1	43	1.5	11.9
Yana Manua	30	2.35	39	1.7	44	0.65	11.8
Amarilla Limeña	16	1.55	36	2	34	1.15	11.8
Papa Negra	24	2.25	77	1.75	93	0.575	11.4
Peruanita	11	1.55	31	1.75	57	1	10.8
Yana Huancuy	28	2.75	35	0.85	17	0.55	10.4
Vacapa Ñuñun	22	2.25	30	1.5	24	0.35	10.3
Yana Pashón Suyto	18	1.8	26	1.3	29	0.8	9.8
Yutupa Runtun	22	1.1	51	2.25	27	0.5	9.6

VARIETADES NATIVAS	Categoría Primera		Categoría Segunda		Categoría Tercera		Rdto t/ha
	Nº	Peso	Nº	Peso	Nº	Peso	
Capquiash	26	1.25	31	1	44	1.5	9.4
Ruyro Puccya	19	1.25	28	1.75	33	0.55	8.9
Muru Huayro	18	1.5	28	1	28	0.35	7.1
Yana Shiri	15	1.5	23	0.75	23	0.55	7.0
Caramelo	13	0.75	26	0.7	25	0.505	4.9

Figura 1. Daños en plantas por descenso de temperatura a -2 y -4°C en el mes de junio - 2013, EEA Santa Ana, INIA-Perú.



Componente 5.
Producción y distribución de semilla

Producción y Distribución de semilla

Resumen

Durante tres años, las actividades del proyecto estuvieron centradas en la identificación de materiales potencialmente tolerantes o resistentes a factores abióticos como la sequía y las heladas. Las tres instituciones socias del consorcio trabajaron paralelamente en esa tarea y se propusieron en multiplicar semilla de los mejores genotipos para poner a disposición de los agricultores de zonas paperas vulnerables a esos factores restrictivos.

El tiempo del proyecto no fue suficiente para lograr grandes volúmenes de semilla para entrega masiva a los agricultores, sin embargo se han logrado avances y compromisos que continuarán más allá del proyecto.

En el Perú el Centro Internacional de la Papa (CIP) promovió en los tres años consecutivos del proyecto la producción de tubérculos semilla en la comunidad de San José de Aymara (2010 – 2013) (Fig. 1), a partir de 57 cultivares nativos de papa del Banco de Germoplasma del CIP con características de reacción a estrés hídrico. Estos fueron utilizados como tubérculos semilla en cada uno de los experimentos para Sequía o heladas realizados con agricultores de las comunidades de Ccollanas - Maras y Taucca – Chinchero en Cusco, San José de Aymara - Pazos y Santa Rosa-Colcabamba en Huancavelica.

Se distribuyó semilla sana de 14 cultivares, que destacaron como los más tolerantes ante extrema sequía, a las comunidades de Ccollanas-Maras (Fig. 2) y Taucca-Chinchero-Perú.

El grupo de cultivares seleccionados como tolerantes a Sequía por su adaptación a condiciones extremas, ahora son considerados en el Banco de Germoplasma del CIP como grupo o stock genético, denominados también viveros especiales para mitigación de sequía y heladas en otras comunidades alto Andinas.

La comunidad de Taucca en Chinchero, Cusco, en base a la entrega de semilla sana de cultivares tolerantes a extrema sequía, ha decidido convertirse en productores de semilla de estos materiales para distribuir a comunidades vecinas (Fig. 3).

En el INIA-Perú, de acuerdo a los resultados de los dos primeros años se identificaron variedades tolerantes a heladas (Piña negra y Pumamaqui negra) por presentar doble parénquima estomática y de periodo vegetativo corto (Chaullina), de las cuales se multiplicó semilla mediante técnicas *in vitro*, luego en invernadero y por último en campo de los agricultores. Este material fue entregado en forma conjunta a los agricultores para que re-multipliquen en forma masiva. Al momento la semilla está almacenada en jabas de madera (Fig. 4) para su buena conservación y brotamiento parejo y luego de la siguiente campaña sea repartida en forma individual.

En Bolivia, no se alcanzó a producir cantidades importantes de semilla como se pretendía porque la duración del proyecto fue muy corta para este propósito, sin embargo se ha invertido en desarrollar y ampliar las capacidades de producción de semilla para cumplir con el compromiso en las siguientes gestiones agrícolas. A la conclusión del proyecto se cuenta con aprox. 160 kg de 5 de las 8 variedades seleccionadas tolerantes a sequía y helada. Adicionalmente se ha realizado un estudio sobre los riesgos de la enfermedad marchitez bacteriana causada por el patógeno *Ralstoniasolanacearum* en la producción de papa (para semilla y consumo) que está en franco proceso de expansión en la región Andina de Bolivia por efecto del cambio climático y que podría traspasar las fronteras hacia los otros países. El estudio es una alerta para tomar precauciones en Bolivia y en los países limítrofes. Los detalles y resultados de este estudio se presentan como un capítulo adicional de este componente.

ANEXOS. Figuras

Figura 1- Cosecha de cultivares validados en San José de Aymara-Perú, multiplicados para distribución como tubérculos semilla para experimentos en las otras comunidades (sequía heladas), Junio 2012



Figura 2.- Distribución de tubérculos semilla que destacaron como los más tolerantes a extrema sequía (autoridades comunales de Collanas-Maras, en Cusco-Perú).



Figura 3.-Comuneros y autoridades de la comunidad de Taucca en Chinchero, Cusco, sobre la base de la semilla sana entregada de cultivares tolerantes a extrema sequía, han decidido convertirse en productores de semilla de estos materiales para distribuir a comunidades vecinas.



Figura4.Cosecha y almacenamiento de semilla básica de papa nativa con agricultores que trabajaron con el INIA-Perú



Evaluación de riesgos para la producción de semilla de papa: Estudio de caso sobre la situación actual de la marchitez bacteriana en Bolivia

José Antonio Castillo¹, Giovanna Plata¹, Rhimer Gonzales¹, Marcelo Montero¹, Silene Veramendi¹, Antonio Gandarillas²

Compendio

Se cuenta con un estudio sobre los riesgos de la marchitez bacteriana, causada por el patógeno *Ralstoniasolanacearum*, en la producción de papa (para semilla y consumo) que está en franco proceso de expansión en la región Andina de Bolivia por efecto del cambio climático y que podría traspasar las fronteras hacia los otros países. El estudio es una alerta para tomar precauciones en Bolivia y en los países limítrofes.

Esta bacteria que vive en el suelo ingresa a la planta y ocasiona la marchitez y eventual muerte de ésta. La marchitez bacteriana puede afectar al 75% de la producción de papa de una parcela y el 100% de la papa almacenada puede perderse en zonas paperas con alta incidencia. Este daño significa una pérdida de entre 300 a 1000 dólares por hectárea (1, 2).

El problema es importante dado que la enfermedad que empezó en el año 1983 se ha extendido por la mayoría de las aéreas donde se cultiva papa del país. Durante el periodo 1985-2003, la enfermedad se diseminó considerablemente mediante el uso indiscriminado del tubérculo-semilla infectado con la bacteria en las zonas tradicionales de producción de tubérculo-semilla (>3000 msnm) de los departamentos de Tarija, Chuquisaca, Cochabamba, Potosí y La Paz. El riesgo potencial de que la marchitez bacteriana se siga extendiendo por todo el país se acentúa debido al incremento de la temperatura y de eventos climáticos irregulares como consecuencia del cambio climático.

Desde 1992 hasta 2006 la Fundación PROINPA, en cooperación con el Centro Internacional de la Papa ha realizado estudios sobre la marchitez bacteriana en Bolivia, identificado las áreas afectadas, las razas de la bacteria involucradas y ha desarrollado propuestas de manejo integrado. Últimamente, los investigadores de la Fundación PROINPA han desarrollado un método basado en técnicas de Biología Molecular para detectar la bacteria patógena en tubérculo-semilla. Con esta tecnología se ha realizado un monitoreo de la enfermedad en las zonas paperas más vulnerables al cambio climático lo que va a fortalecer las capacidades de producción, distribución y acceso a tubérculos-semilla libres de la bacteria. La tecnología molecular ofrece gran sensibilidad y precisión en el diagnóstico y mayor rapidez que las técnicas convencionales a un costo equivalente a éstas. En el año 2013, se ha realizado una colecta de 204 muestras de semilla de papa de 15 municipios de los departamentos de Bolivia donde tradicionalmente se cultiva papa para conocer la situación actual de la enfermedad en el país. Los resultados indican que en las localidades de Morochata, Tiraque, Pocona, Vacas, Cocapata y Totora (Cochabamba), Tarabuco (Chuquisaca), Patacamaya (La Paz), San Pedro de Totora (Oruro), y Villazón (Potosí) se han encontrado semilla contaminada con *R. solanacearum*.

Introducción

El cultivo: La papa está catalogada como el cuarto cultivo más importante a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (FAO, 2008). Las primeras plantas de papa aparecieron en las laderas de los Andes y desde épocas ancestrales, estas se fueron domesticando y mejorando hasta contar en nuestros días con variedades de exquisito sabor y textura (Spooner *et al.*, 2005).

En Bolivia, se producen más de 750 mil toneladas del tubérculo al año e involucra aproximadamente a 200.000 agricultores que constituyen el 30-40% del total de agricultores del país. La papa es la principal fuente de alimentación e ingresos de los agricultores locales y el valor de la producción de papa alcanza aproximadamente a 298 millones de dólares americanos incluyendo la producción de chuño y de productos industriales derivados, valor que no es despreciable (Gabriel, 2010).

La marchitez bacteriana. A pesar del éxito que ha tenido la papa a nivel nacional y mundial, el cultivo de este tubérculo sufre terribles embates. Además de los factores climáticos (por ejemplo, heladas, sequías y granizo) que menguan la producción, varias enfermedades afectan seriamente el desarrollo de su cultivo. En términos de enfermedades ocasionadas por bacterias patógenas, la enfermedad llamada marchitez bacteriana,

¹Investigadores Fundación PROINPA-Bolivia

²Gerente General Fundación PROINPA

podrición parda, marchito, seca-seca, k'awi o k'awira es una de las más graves. Esta enfermedad causada por el patógeno *Ralstonia solanacearum*, una bacteria que vive en el suelo ingresa a la planta a través de heridas en las raíces que se realizan mediante las prácticas culturales (aporques) y/o aberturas realizadas por insectos o nematodos. Posteriormente la planta se marchita, y eventualmente muere. Este patógeno está extendido en las zonas tropicales y subtropicales del planeta porque preferentemente vive a temperaturas relativamente altas (alrededor de los 28°C)(Mansfield *et al.*, 2012; Peeters *et al.*, 2013). Por esta razón, este microorganismo es probablemente el patógeno bacteriano más destructivo de plantas en todo el mundo y en Bolivia genera pérdidas significativas en la producción de papa. Afecta un 75% de la producción de papa de una parcela y el 100% de la papa almacenada puede perderse debido a esta enfermedad en zonas paperas con alta incidencia. Este daño significa una pérdida de entre 300 a 1000 dólares por hectárea. Considerando que la producción de papa en el país es muy importante en términos económicos, sociales y culturales, el daño que ocasiona esta enfermedad es también muy significativo además que reduce las áreas de producción de semilla y contamina nuevas áreas cuando se utilizan tubérculos con infección latente (Fernandez-Northcote & Alvarez, 1993; Barea *et al.*, 2008).

La marchitez bacteriana en general ataca también a otros cultivos de gran importancia económica como el tomate, el pimentón, la berenjena, el maní, el banano y otros cultivos agrícolas ornamentales y forestales (Genin & Denny, 2012). Por varias décadas se ha intentado luchar contra esta enfermedad en varios países. Los éxitos son limitados ya que el manejo de la enfermedad es difícil por la facultad del patógeno para sobrevivir durante años en suelo húmedo, en estanques de agua, en residuos vegetales o en malezas hospedantes que actúan como fuentes de inóculo. Alrededor del mundo se han realizado varios esfuerzos para generar variedades de papa con resistencia a este patógeno, con algunos éxitos restringidos debido a la amplia diversidad de las cepas que pueden infectar a las plantas y a la siempre persistente infección latente en tubérculos-semilla (Patil *et al.*, 2012).

El problema de la semilla de papa. El método convencional que utilizan los agricultores para propagar la papa y sembrar nuevas parcelas es el tubérculo-semilla (propagación asexual). Esta semilla no es más que un tubérculo de papa que se coloca en la tierra y que después de algunos días o pocas semanas brota y genera una nueva planta. El problema del tubérculo-semilla es que éste puede portar algunas enfermedades que no son fácilmente visibles o detectables a simple vista. La bacteria que produce la marchitez bacteriana puede estar presente en el tubérculo-semilla y a través de la actividad humana la enfermedad se puede diseminar en nuevos terrenos sin que los agricultores se den cuenta hasta que los síntomas de la enfermedad aparezcan y sea demasiado tarde. El problema es tan grande que la enfermedad que se estima empezó en el año 1983 se ha extendido por la mayoría de las aéreas donde se cultiva papa del país. Durante el periodo 1985-2003, la enfermedad se diseminó considerablemente mediante el flujo indiscriminado del tubérculo-semilla infectado con la bacteria en las zonas tradicionales de producción de tubérculo-semilla (>3000 msnm) de los departamentos de Tarija, Chuquisaca, Cochabamba, Potosí y La Paz y las zonas bajas potencialmente productivas de los llanos cruceños. El uso de tubérculo-semilla con síntomas de la enfermedad o con infección latente, parece ser la causa permanente de la diseminación y contaminación de la bacteria en los suelos y entre comunidades generando círculos viciosos de la enfermedad en las siembras de papa que realizan al año (Barea *et al.*, 2008).

Algunos agricultores que producen tubérculo-semilla están conscientes del potencial peligro de diseminar la marchitez bacteriana a través del tubérculo-semilla pero el elevado costo o la escasez del mismo los obliga a comprar de fuentes no muy confiables. Por esta razón, la multiplicación del tubérculo-semilla se realiza a partir de material sano certificado por instituciones dedicadas a la investigación de la papa (por ejemplo la Unidad de Producción de *Semilla de Papa* -SEPA, Fundación PROINPA y otras) en zonas de alta montaña donde el frío restringe el desarrollo y dispersión de la enfermedad. De estas zonas, los agricultores que producen papa para consumo humano compran tubérculo-semilla y la llevan a zonas más bajas donde se cultiva papa para la comercialización y luego la venden en mercados locales. Sin embargo, no todos los productores de papa compran tubérculo-semilla certificada o de zonas altas llevando consigo el riesgo de propagar la enfermedad entre los campos paperos. Esta dinámica informal ha provocado que la enfermedad se extienda enormemente en pocos años.

Influencia del cambio climático en la dispersión de la marchitez bacteriana. El riesgo potencial de que la marchitez bacteriana se siga extendiendo por todo el país se acentúa debido al incremento de la temperatura y de eventos climáticos irregulares como consecuencia del cambio climático. Aunque se estima que la temperatura global media solo se incrementó en aproximadamente 0.6°C durante el último siglo, este incremento ha generado desequilibrios climáticos que se manifiestan como aumentos de la temperatura en

invierno (veranillos) y regímenes pluviales irregulares que provocan sequías o inundaciones. Estos cambios podrían provocar que el patógeno se adapte mejor a diversos ambientes y pueda extenderse la frontera de la enfermedad a zonas donde antes no existía debido a limitaciones climáticas. Estimaciones basadas en modelos climáticos muestran que las zonas altas en las que tradicionalmente se produce tubérculo-semilla de papa podrían ser afectadas con un incremento de la temperatura media de 3°C hasta el año 2100 (Schneider *et al.*, 2007). Esta apreciación se confirma con la evidencia de la aparición de síntomas de la enfermedad en algunas zonas de alta montaña donde anteriormente solo existía infección latente debido a la baja temperatura. Así, las observaciones recientes sugieren que la marchitez bacteriana está ascendiendo a zonas semilleras de mayor altura y la extensión de las zonas propicias para el desarrollo de esta enfermedad en Bolivia podrían incrementarse. Estas zonas afectadas corresponden a regiones montañosas de municipios con una diversidad de pisos ecológicos (zonas andinas, valles y subtrópico), con altitudes entre los 400 a 3800 msnm. Este hecho es muy importante porque en estas regiones donde nunca antes hubo problemas de marchitez, los agricultores no tienen experiencia en diagnosticar y manejar esta enfermedad, por tanto, si se presenta la enfermedad los daños podrían ser aun más severos.

Medidas de adaptación. Desde 1992 hasta 2006 la Fundación PROINPA, en cooperación con el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha realizado estudios sobre la marchitez bacteriana en Bolivia, identificado áreas afectadas en el país, las razas de la bacteria involucradas y ha desarrollado propuestas de manejo integrado, en base a rotación de cultivos, prácticas culturales, uso de enmiendas, uso de tubérculo-semilla sana y uso de variedades tolerantes. Últimamente, con ayuda de la cooperación coreana (Rural Development Administration, Corea del Sur), los investigadores de la Fundación PROINPA han desarrollado un método basado en técnicas de Biología Molecular para detectar la bacteria patógena en tubérculo-semilla, en otros tejidos de la planta y en el suelo, tecnología que está disponible para agricultores, asociaciones, instituciones y empresas relacionadas con la producción de papa. La detección del patógeno es importante porque permite realizar un diagnóstico rápido y preciso para tomar medidas inmediatas de precaución. El monitoreo de la enfermedad en las zonas paperas más vulnerables al cambio climático va a fortalecer las capacidades de producción, distribución y acceso a tubérculos-semilla libres de la bacteria. La tecnología molecular ofrece gran sensibilidad y precisión en el diagnóstico y mayor rapidez que las técnicas convencionales a un costo equivalente a éstas (Miller & Martin, 1988). Esta tecnología también aumenta la comprensión de la biología y la estructura de las poblaciones de los patógenos y provee respuestas rápidas y exactas a preguntas epidemiológicas sobre enfermedades de plantas y ayuda a la tomar decisiones sobre el control de estas (Michailides *et al.*, 2005).

¿Qué hacer para enfrentar los riesgos de la expansión de la marchitez bacteriana en el país? Se debe establecer un programa de alerta y monitoreo permanente para minimizar los riesgos y contaminación de la bacteria que incluya el empleo de un método de diagnóstico temprano de la enfermedad, el desarrollo y validación de innovaciones tecnológicas para mitigar el riesgo de mayor diseminación de la bacteria en zonas productoras de tubérculo-semilla y establecer mecanismos participativos de difusión tecnológica para los productores. Estos esfuerzos deben venir acompañados de investigación científica dirigida a reducir los riesgos ocasionados por la bacteria. Por supuesto, las instituciones nacionales relacionadas con la sanidad vegetal y producción agrícola (SENASAG, INIAF, etc.) junto con otras instituciones y centros de investigación deben establecer alianzas que permitan el estudio detallado de la situación actual de la marchitez bacteriana y generen alternativas viables para controlar la diseminación de la enfermedad de zonas endémicas a zonas libres en el país.

Como un aporte al control de la marchitez bacteriana en papa, la Fundación Proinpa, con fondos de la cooperación coreana dentro del marco de este proyecto, se ha llevado a cabo un detallado monitoreo de las zonas semilleras de papa en Bolivia para conocer la situación actual de la enfermedad.

Materiales y métodos

Se han colectado muestras de tubérculo semilla de papa de diferentes localidades semilleras de los departamentos de La Paz, Cochabamba, Chuquisaca, Oruro y Potosí (Tabla 1). Los lugares de colecta se han georeferenciado usando el dispositivo GPS Garmin Oregon. Para la asignación de las coordenadas geográficas en un mapa se ha utilizado el programa Diva Gis 7 (Fig. 1).

En laboratorio, el tejido interno de varios tubérculos-semilla por localidad se ha utilizado para inocular placas petri conteniendo medio Kelman suplementado con cloruro de tetrazolio (50 µg/ml, Kelman, 1954). Este medio de cultivo es adecuado para el crecimiento de *R. solanacearum*. Luego de un periodo de incubación de 48 h, todas las colonias bacterianas crecidas en el medio se han arrastrado y resuspendido en 50 µl de agua destilada estéril. Después de 10 min de incubación a 100°C, se han tomado 3 µl de la suspensión destanurada para preparar una reacción de PCR usando los partidores específicos para *R. solanacearum* 759 y 760 (5'-

GTCGCCGTCACACTTCC-3' y 5'-GTCGCCGTCAGCAATGCGGAATCG-3' respectivamente, Opina *et al.*, 1997). El contenido de la mezcla de reacción fue: 3µl de suspensión bacteriana desnaturalada, 0.2 mM de cada dNTP, 20 pmol de cada primer, 1x de reactivo Q (Qiagen), 0.3U de Phusion ADN polimerasa (New England Biolabs) y 1x de amortiguador HF. La amplificación del ADN se realizó a 95°C por 5 min seguido por 35 ciclos a 95°C por 30 s, 58°C por 40 s y 72°C por 40 s con una etapa final a 72°C por 10 min. El producto de PCR se ha analizado en geles de agarosa al 2.0 %, que se tiñeron con 1 µL de bromuro de etidio (10 mg/l) y se visualizaron bajo luz UV. La existencia de una banda que corresponde a 281 pb fue indicación de presencia del patógeno (Opina *et al.*, 1997).

Resultados y Discusión

Se han tomado muestras de 204 diferentes lugares (parcelas de agricultores) de 44 localidades (pueblos o poblados) de 15 municipios de los departamentos de La Paz, Cochabamba, Chuquisaca, Oruro y Potosí. La incidencia de la marchitez bacteriana por municipios es alta ya que el 66% de ellos presentan evidencias de la enfermedad, sin embargo, la contaminación de los tubérculos con la enfermedad en porcentaje es bajo (el 8.52 % de los tubérculos contienen al patógeno, ver Tabla 1 y Figura 1).

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la marchitez bacteriana está presente en zonas semilleras del país, y que a corto plazo, constituye un riesgo para la producción de semilla de alta calidad porque puede contaminar otros suelos semilleros y suelos de zonas bajas reduciendo la superficie apta para el cultivo de la papa. Existe también el riesgo de afectar severamente la producción de otros productos (tomate, berenjena, etc.). Es necesario continuar con las investigaciones tomando una mayor cantidad de muestras y analizando un número mayor de tubérculos por zona. Así mismo, es necesario implementar estrategias de manejo de la enfermedad especialmente en las zonas semilleras y alertar y sensibilizar a los agricultores sobre el avance esta y la influencia del cambio climático. Por otro lado, los resultados de este trabajo serán informados a autoridades nacionales como el Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG), (Instituto Nacional de Innovación Agrícola y Forestal (INIAF), y Municipios para que se tomen acciones urgentes de contención y se apliquen planes e innovaciones tecnológicas para reducir la invasión, infestación e incremento de *R. solanacearum* en campo de productores de semilla de papa.

Referencias

- Barea O., Equise H., Alvarez V., Gandarillas A. 2008. La marchitez bacteriana en Bolivia: situación actual y sus consecuencias futuras. *Revista de Agricultura (Bolivia)*. 60:10-43.
- Fernandez-Northcote E. N., Alvarez V. 1993. Situación actual de la marchitez bacteriana causada por *P. solanacearum* en Bolivia., Brasilia, Brasil.
- Food and Agricultural Organization, United Nations. International Year of the Potato 2008 – The potato". <http://www.potato2008.org/en/potato/>. Retrieved 25 June 2013.
- Gabriel J. 2010. Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. Documento marco. Fundación Proinpa. Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- Genin S., Denny TP. 2012. Pathogenomics of the *Ralstoniasolanacearum* species complex. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50:67-89.
- Kelman, A. 1954. The relationship of pathogenicity in *Pseudomonas solanacearum* to colony appearance on a tetrazolium medium. *Phytopathol.* 44:693-695.
- Michailides T.J., Morgan D.P., Ma Z., Luo Y., Felts D., Doster M.A., Reyes H. 2005. Conventional and molecular assays aid diagnosis of crop diseases and fungicide resistance. *Calif. Agr.* 59:115-123.
- Miller S.A., Martin R.R. 1988. Molecular Diagnosis of Plant Disease. *Annu. Rev. Phytopathol.* 26: 409-432.
- Opina N, Tavner F, Hollway G, Wang JF, Li TH, Maghirang R, Fegan M, Hayward AC, Krishnapillai V, Hong WF, Holloway BW and Timmis J. 1997. A novel method for development of species and strain specific DNA probes and PCR primers for identifying *Burkholderiasolanacearum* (formerly *Pseudomonas solanacearum*). *Asia Pacific J. Mol. Biol. Biotech.* 5:19-30.
- Schneider S.H., Semenov S., Patwardhan A., Burton I., Magadza C.H.D., Oppenheimer M., Pittock A.B., Rahman A., Smith J.B., Suarez A., Yamin F. 2007. Table 19.1. In Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. eds. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of*

the Intergovernmental Panel on Climate Change. Print version: Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York, N.Y., U.S.A. This version: IPCC website. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch19s19-3-1.html. Consultado el 25 de junio de 2013.

Spooner D.M., McLean K., Ramsay G., Waugh R. Bryan G.J. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:14694–99.

Patil V.U., Gopal J., Singh B.P. 2012. Improvement for Bacterial Wilt Resistance in Potato by Conventional and Biotechnological Approaches. *Agric. Res.* 1:299–316.

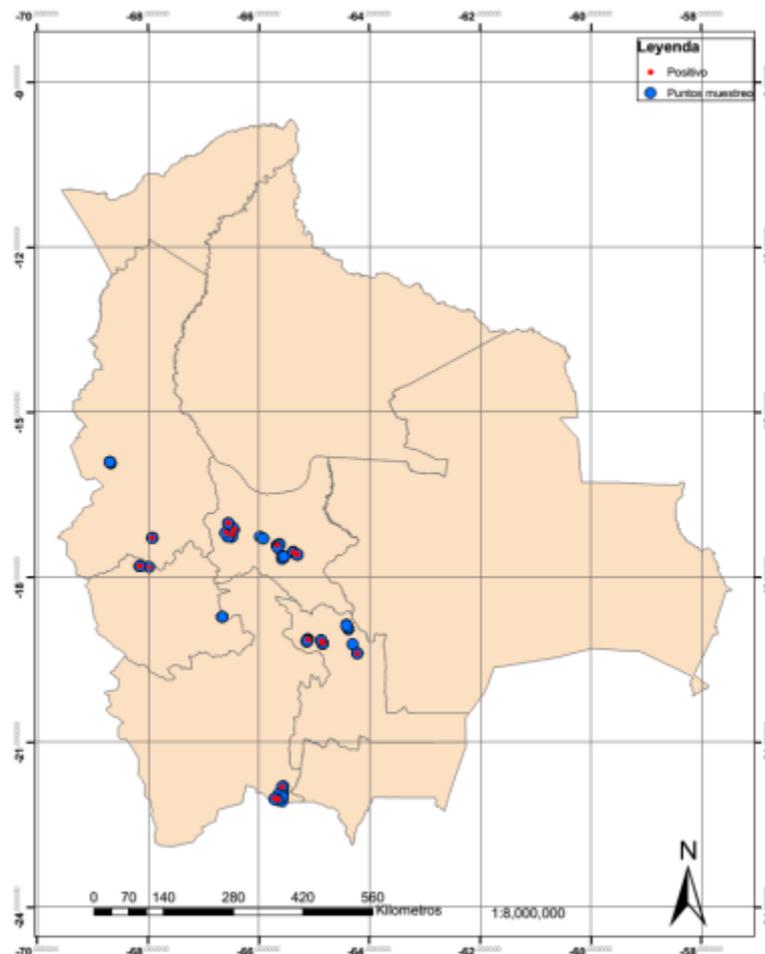
ANEXOS

Tablas y Figuras

Tabla 1. Resumen de la presencia de *R. solanacearum* en tubérculo-semilla de papa obtenida de zonas semillas de Bolivia

Departamento	Municipio	Localidades de muestreo	Lugares de muestreo	Numero de tubérculos analizados	Numero de tubérculos positivos	Tubérculos positivos (%)
Cochabamba	Tiraque	5	9	18	1	5.56
	Colomi	2	4	8	0	0.00
	Vacas	2	8	70	3	4.29
	Morochata	7	22	242	18	7.44
	Cocapata	1	7	67	6	8.96
	Pocona	2	6	12	2	16.67
	Totora	1	6	12	1	8.33
Chuquisaca	Tarabuco	6	42	160	10	6.25
	San Lucas	1	2	4	0	0.00
	Villa Cerrano	3	15	30	0	0.00
La Paz	Patacamaya	2	14	28	1	3.57
	Achacachi	1	19	38	0	0.00
Oruro	Challapata	1	18	36	0	0.00
	San Pedro de Totora	3	12	24	4	16.67
Potosí	Villazón	7	20	40	3	7.50
Total	15	44	204	789	49	
Promedio						8.52

Figura 1. Situación actual de la marchitez bacteriana en Bolivia



Componente 6.
Construcción del Plan de adaptación al cambio climático

Plan de adaptación al cambio climático

Resumen

Se cuenta un plan de adaptación al cambio climático en proceso de publicación denominado “Ciencia y saber para el cambio climático en la agricultura en ecosistemas altoandinos basados en papa”, que es aplicable a la zona andina. El libro compila información generada en el proyecto y contribuciones de otras iniciativas para lograr un enfoque integral para la determinación de efectos y respuestas a los cambios climáticos observados o previstos, y opciones prácticas de adaptación tomando en cuenta el sistema: suelo, agua y planta. En el ámbito del suelo, se contempla observaciones y recomendaciones prácticas en un contexto de cambio climático sobre el mejoramiento de la fertilidad y los microorganismos benéficos del suelo, manejo del carbono, protección del suelo y descanso mejorado. En el tema de agua, manejo del agua y épocas de siembra, cosecha de agua y mejora de la capacidad de retención de humedad, y bio-estimulación al estrés hídrico. En el tema de planta, ejemplos sobre adaptación de la agrobiodiversidad al cambio climático, el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas productivos de papa ante el cambio climático a través de un mejoramiento de la sanidad, la contribución del mejoramiento genético a la resiliencia de los sistemas productivos de papa ante el cambio climático, y el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas productivos ante el cambio climático a través del mejoramiento de los sistemas de semilla. Como conclusiones se exponen los aportes de la ciencia y saber al manejo de los efectos del CC (SA, y resiliencia de los sistemas), la necesidad de escalamiento para un aporte efectivo, las campañas como mecanismo de escalamiento, y brevemente la situación e importancia de políticas comunales, municipales, departamentales y nacionales relacionadas con la agricultura y adaptación al cambio climático.

En el Perú, el INIA y el CIP han diseñado planes específicos para las comunidades donde ha intervenido el proyecto. Los documentos están aún en proceso de publicación.

En el caso del CIP, al menos 5 talleres con participación de agricultores locales, se realizaron en cada una de las comunidades de Ccollanas-Maras y Tauca-Chichero-Perú con los siguientes objetivos:

- Obtener el consentimiento y participación de las comunidades en el proyecto.
- Organización y capacitación bilateral para la ejecución de los experimentos, para la selección participativa de cultivares tolerantes locales.
- Identificar áreas vulnerables a sequía o heladas, y definir participativamente estrategias de mitigación.

Al final de Junio 2013 se realizaron talleres sobre mitigación de los efectos del cambio climático con entrega de mapas (Fig.1 y 2) elaborados participativamente, plan y lista de materiales y tubérculos semilla de cultivares que resultaron tolerantes ante estos problemas. El plan señala que los tubérculos semilla de los 14 mejores cultivares seleccionados, se utilizarán para incrementar semilla durante los 3 próximos años. La semilla producida será distribuida entre todos los comuneros, de tal forma que los cultivares tolerantes puedan sembrarse según la zonificación de áreas vulnerables de su territorio para Sequía o helada señalados en los respectivos mapas, para mitigar los efectos del cambio climático y mejorar la seguridad alimentaria en las comunidades. En la Figura 3 se muestra la entrega y explicación del plan de mitigación a representantes de la comunidad de Ccollanas en Maras Cusco.

Por su lado el INIA-Perú con la información y los resultados generados en el proyecto desarrolló en forma participativa y en talleres un plan de prevención y mitigación de desastres naturales y de adaptación al cambio climático para los sistemas de producción basados en papa en la comunidad de Paltarumi

ANEXOS.

Figura 1.- Mapa de la comunidad de Taucca, mostrando la zonificación de áreas vulnerables altas donde deben sembrarse los cvs de papa seleccionados para mitigar los efectos del cambio climático (heladas y sequía en este caso)



Figura 2.- Mapa de la comunidad de Ccollanas, mostrando la zonificación de áreas vulnerables en ambiente kárstico, donde deben sembrarse los cvs de papa seleccionados para mitigar los efectos del cambio climático (sequía en este caso)



Figura 3.- Entrega y explicación del plan de mitigación a representantes de la comunidad de Ccollanas



Componente 7.
Difusión y diseminación

Publicaciones y Presentaciones

Abstracts presentados y publicados en las memorias del “IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa” en Ecuador 2013:

- Gabriel J., B. Perez, J. Magne, A. Angulo, N. Ortuño, X. Cadima. Efecto de los bioinsumos en la capacidad de Respuesta de cultivares nativos de papa a sequia. En: Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa (4to, 2013, Ecuador). Memorias del IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa. Riobamba, Ecuador. [2013. 138-139](#) pp.
- Gabriel J., A. Angulo, J. Magne, S. Veramendi. Cultivares mejorados de papa resistente a estreses abióticos con potencial para adaptación al cambio climático. En: Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa (4to, 2013, Ecuador). Memorias del IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa. Riobamba, Ecuador. [2013. 136-137](#) pp.

Tesis de maestría y doctorado:

- Elise Vendevre. 2010. *In vitro* screening for water stress tolerance in cultivated potato germplasm (*Solanum* spp.) Tesis para obtener el Grado de Magíster en Mejoramiento de Plantas. Instituto Superior AGROCAMPUST OUEST de Ciencias Agronómicas y Agroalimentarias, Francia.
- Delphine Jaunard. 2010. Contribution à l'évaluation et à la caractérisation de variétés de pommes de terre (*Solanum* sp.) des régions semi-arides des Andes boliviennes. Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Bioingénieur en Sciences Agronomiques. Gembloux agrobiotech. Université de Liege, Belgique.
- Karina Jessica Marmolejo Gutarra. Sustentabilidad del cultivo de papa nativa en la comunidad de Paltarumi en un entorno de cambio climático, Pariahuanca-Junín”. En proceso. Escuela de Post grado del doctorado de Agricultura Sustentable de la Universidad Nacional Agraria La Molina -Perú

Tesis de licenciatura:

Perú:

- Milca Vhasti Vivanco Vila. Caracterización fenotípica de 80 variedades nativas de papa (*Solanum* sp.) Conservadas *in situ* y *ex situ* en dos zonas de la localidad de Paltarumi – Pariahuanca.
- Néstor D. Lázaro Paitampoma. Tolerancia a heladas de 10 variedades nativas de papa (*Solanum* sp) en la zona de Jallumpata - Paltarumi - Pariahuanca en dos épocas de siembra.
- Christian Valero Esteban. Influencia de la precipitación y la temperatura en 10 variedades del cultivo de papas nativas (*Solanum* sp.) de la microcuenca de Pariahuanca.
- Samuel Sanabria Quispe. Resistencia al estrés hídrico de variedades nativas de papa bajo condiciones controladas en invernadero, para afrontar el cambio climático.
- Jerson Ruiz Velásquez “Tolerancia a Heladas y Sequías de 10 variedades de papa nativa en tres localidades”.

Bolivia:

- Ever Mamani Vila. “Evaluación de la diversidad genética de papas nativas (*Solanum* sp) frente a la variabilidad y cambio climático en la comunidad de Cariquina Grande”
- Luis Eugenio Quispe Quispe. “Evaluación de 12 variedades de papas nativas (*Solanum* sp) frente a la sequia y análisis de la variabilidad y cambio climático en la comunidad de Cariquina Grande.”
- Tatiana Erika Siñani Yujra. “Evaluación de 12 variedades de papas nativas (*Solanum* sp) frente a la heladas y análisis de la variabilidad y cambio climático en la comunidad de Cariquina Grande.”
- Brauliana Seriana Perez Marca. “Evaluación de la respuesta de cultivares nativos de papa a estrés hídrico por sequía y a la aplicación de innovaciones tecnológicas para contrarrestar el efecto del estrés”
- Jhonny Canqui Orosco. “Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía y la aplicación de bioinsumo”

- Diego Román Chirino Choquetarqui. “Evaluación de los efectos de la helada y de la aplicación de Bioinsumos en cuatro variedades de papa nativa (*Solanum sp.*) en la comunidad Coromata Media, Municipio de Huarina”
- Julio Cesar Ancari Ventura. “Evaluación de las características agronómicas en cuatro variedades de papa nativa con aplicación de bioinsumos bajo condiciones de sequía en la Comunidad Quipaquipani, Provincia Ingavi”

Artículos científicos publicados:

- Cadima, X.; Veramendi, S.; Gabriel, J. 2013. Uso de marcadores moleculares microsatelite para el análisis de la diversidad genética de papa nativa de Solivia. *J. SelvaAndina Res. Soc.* [online]. 4(1): 18-30. ISSN 2072-9294.
- Gabriel, J.; S. Veramendi; A. Angulo; J. Magne. 2013. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanumtuberosum L.*) al estrés hídrico por sequía. *Revista Latinoamericana de la Papa* 17 (2): 1-22. ISSN: 1853-4961
- Veramendi, S.; X. Cadima; J. Gabriel. 2013. Integración de datos moleculares y morfológicos para la formación de la Colección Núcleo de papa en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa* 17 (2): 23-40. ISSN: 1853-4961
- Gabriel, J.; G. Ancasi; A. Angulo; J. Magne; J. La Torre; P. Mamani. 2012. Resistencia genética de híbridos de papa (*Solanumtuberosum L.*) al estrés hídrico por sequía. *Revista Latinoamericana de la Papa* 17 (1): 97-124. ISSN: 1853-4961
- Gabriel, J.; P. Porco; A. Angulo; J. Magne; J. La Torre; P. Mamani. 2011. Resistencia genética a estrés hídrico por sequía en variedades de papa (*Solanumtuberosum L.*) bajo invernadero. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16 (2): 173-218. ISSN: 1853-4961

Artículos en proceso:

- “Selección *in vitro* de cultivares de papa tolerantes a estrés hídrico utilizando PEG” Tema que será enviado a la revista ALAP antes del 30 de Septiembre. 2013
- “Selección de cultivares de papa tolerantes a estrés hídrico en invernadero” Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo, Estudiante Mervin Inga. A publicar antes del 31 de Diciembre 2013.
- “Respuesta de cultivares nativos de papa a estrés por heladas en la zona Andina de Perú” Tema que será enviado a la revista ALAP, antes del 31 de Diciembre, 2013.
- “Respuesta de cultivares nativos de papa a estrés por sequía en la zona Andina de Perú”. Tema que será enviado a la revista ALAP, antes del 31 de Diciembre, 2013.

Manuales (en edición):

- “Protocolos para evaluación de germoplasma nativo y mejorado de papa a sequía, heladas y granizo” generado conjuntamente con los tres socios del proyecto.
- “Nuestra papa nativa frente al cambio climático: experiencias metodológicas de investigación participativa en la comunidad de Paltarumi-Pariahuanca” elaborado por el INIA-Perú
- “Ciencia y saber para el cambio climático en la agricultura en ecosistemas altoandinos basados en papa” elaborado por la Fundación PROINPA.