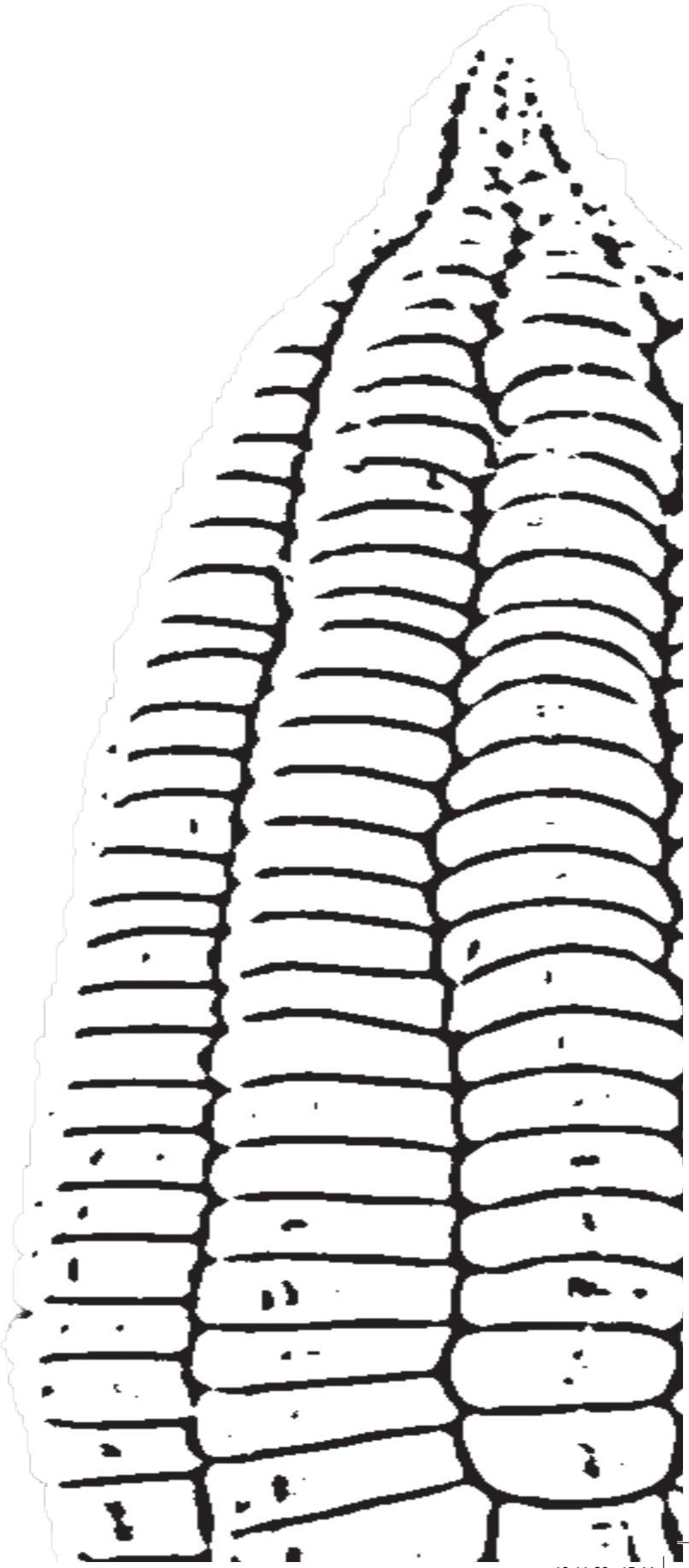

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 1 10-11-20 15:44

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 2 10-11-20 15:44

RECURSOS FITOGENÉTICOS DE INTERÉS AGRÍCOLA

ALGUNOS CASOS DE VALORIZACIÓN Y DESARROLLO ACTUAL EN LA AGRICULTURA TRANSFRONTERIZA DE PERÚ, BOLIVIA Y CHILE

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 3 10-11-20 15:44

Ediciones Universidad de Tarapacá
Publicación realizada con aportes del
Convenio de Desempeño CD UTA1799

RECURSOS FITOGENÉTICOS DE INTERÉS AGRÍCOLA
Algunos casos de valorización y desarrollo actual en la agricultura transfronteriza de Perú, Bolivia y Chile.

Primera edición: diciembre, 2020.
Impreso en: Andros Impresores Ltda.
ISBN: 978-956-6028-16-1
Propiedad Intelectual: 2020-A-9941

Editores:
Elizabeth Bastías Marín, Dra. Fisiología Vegetal.
Yeny Ángel Rojas, Ingeniera Agrónoma.
Universidad de Tarapacá.
Departamento de Producción Agrícola.
Facultad de Ciencias Agronómicas.
Contacto: ebastias@uta.cl

Autores:
PhD. Rodomiro Ortiz Ríos. Swedish University of Agricultural Science.
PhD. Mario E. Tapia Núñez. Asesor Independiente, Perú.
Dra. Luz Gómez Pando. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
PhD. Óscar Fernández Cutire. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú.
Ing. Agrónoma Betty Mamani-Huarcaya, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú.
PhD. Karina Ustariz Olivera. Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
Ing. Agrónomo Luis Pizarro Arce. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Tarapacá, Chile.
Dra. Elizabeht Bastías Marín. Universidad de Tarapacá, Chile.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 4 10-11-20 15:44

INTRODUCCIÓN

Existe concenso mundial respecto de la importancia que tiene en la pequeña agricultura, y en el contexto del cambio climático, el uso de cultivos tradicionales considerados germoplasmas de interés agrícola debido a que representan el principal recurso de subsistencia de comunidades que por años han desarrollado su vida en torno a su cultivo, transformándose en sus guardadores y haciendo posible su actual existencia y conocimiento. Esta situación, que se presenta en la totalidad de las regiones del mundo, no es la excepción de países como Perú, Bolivia y Chile, donde existen importantes zonas de desarrollo y diversificación de este tipo de recurso fitogenético. En los siguientes capítulos presentamos varias experiencias desarrolladas en estos países, donde ha sido posible la realización de investigaciones que han permitido su conocimiento y en algunos casos el mejoramiento de su producción, en concordancia y con respeto a las prácticas culturales que las comunidades han aplicado a sus cultivos.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 5 10-11-20 15:44

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 6 10-11-20 15:44

ÍNDICE

Importancia de la conservación de los germoplasmas nativos, su diversidad e interés como recursos para enfrentar el cambio climático
PhD. Rodomiro Ortiz R., Swedish University of Agricultural Sciences. 9

La kañiwa o kañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) el pequeño grano andino
PhD. Mario E. Tapia N., Asesor Independiente, Perú. 35

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), su revaloración y estudio en Perú
Dra. Luz Gómez P., Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. 57

Recuperación y revaloración del cultivo ancestral del pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) ecotipo morado de Tacna
PhD. Óscar Fernández C.; Ing. Agrónomo, Betty Mamani H. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú. 91

Los pastos del altiplano y su conservación: el género *Festuca* como un estudio de caso de Bolivia
PhD. Karina Ustariz O., Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. 117

Maíz "lluteño": valorización de un recurso fitogenético de interés agrícola en el valle de Lluta, norte de Chile
Dra. Elizabeth Bastías M., Universidad de Tarapacá, Chile. 135

"Lo que el tiempo no borra: complementariedad entre los saberes de las comunidades rurales del Tamarugal y la agroecología"
Ing. Agrónomo, Luis Pizarro A., Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Región de Tarapacá, Chile. 155

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 7 10-11-20 15:44

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 8 10-11-20 15:44

IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE LOS GERMOPLASMAS NATIVOS, SU DIVERSIDAD E INTERÉS COMO RECURSOS PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Rodomiro Ortiz R.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 9 10-11-20 15:44

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 10 10-11-20 15:44

Introducción

La diversidad es la palabra clave para describir la agricultura en Sudamérica. El clima en constante cambio, la variada geografía natural y humana, el aumento de la urbanización y los nuevos patrones de consumo dan lugar a diferentes tipos de agricultura, que a menudo coexisten en los mismos territorios (Mateo y Ortiz, 2012). Si bien la agricultura en Bolivia, Chile y Perú enfrenta importantes desafíos, estos países de América del Sur están bien posicionados para alimentar a su población futura, y también para contribuir al resto del mundo con su producción excedente de alimentos. La asombrosa diversidad de sus entornos y ecosistemas apuntan a un futuro luminoso, siempre que el manejo sostenible de sus recursos naturales sea la norma y estén disponibles los financiamientos para desarrollar la infraestructura, los servicios y la investigación agrícola. La agricultura transfronteriza de estos países del Pacífico Sur involucra una compleja combinación de componentes productivos que incluyen cultivos básicos, hortalizas, ganado, árboles y peces que interactúan principalmente con pastizales, áreas cultivadas y cursos de agua. La gestión del riesgo y la mejora de la productividad mediante la diversificación y la intensificación sostenible es fundamental para garantizar y mejorar los medios de vida de sus poblaciones rurales. Las principales limitaciones biofísicas de esta agricultura transfronteriza son las limitaciones y la degradación de los recursos naturales, en particular del agua y la desertificación creciente. Los esfuerzos para abordar estas limitaciones centrándose en componentes individuales o no han tenido éxito o enfrentan ahora una tasa de impacto decreciente, lo que indica la necesidad de nuevos enfoques integrados y sistémicos de investigación para el desarrollo de los agroecosistemas en estas zonas áridas (Van Ginkel *et al*., 2013). Se necesitan estos enfoques innovadores para reunir a todos los participantes en las cadenas de valor, (desde los productores primarios hasta los responsables de la formulación de políticas) para desarrollar tecnologías, estrategias de gestión de recursos y arreglos institucionales que mejoren la capacidad de las comunidades y los actores dentro de ellas, y fortalezcan los arreglos institucionales para construir la resiliencia de sus medios de vida.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 11 10-11-20 15:44

1. CAMBIO CLIMÁTICO

Se esperan temperaturas extremas, escasez de agua e inundaciones como resultado del cambio climático global, debido principalmente a un aumento antropogénico de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este cambio de clima afectará gravemente a la agricultura en todo el mundo. De acuerdo con la mayoría de los escenarios de calentamiento global, es bastante probable que el rendimiento de los cultivos disminuya debido al aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones, lo que aumentará la inseguridad alimentaria. Otros cambios esperados son la reducción de la calidad de los cultivos, la intensificación de la lixiviación de nitrógeno y la erosión del suelo y la reducción de los recursos de tierra y agua para la agricultura. Los gobiernos y los agricultores, en particular los pequeños agricultores de todo el mundo deberán adaptar sus agroecosistemas a patrones climáticos variables e inestables porque el cambio climático afectará la disponibilidad, la estabilidad, la utilización y el acceso de los alimentos. Por tanto, los principales desafíos para la agricultura en este siglo XXI serán aumentar el suministro de alimentos, mejorar su distribución y acceso, y mejorar la resiliencia de todo el sistema alimentario, al tiempo que se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se elimina gradualmente la contaminación del aire y el agua por la agricultura y el uso de la tierra, así como el evitar la pérdida de la biodiversidad y el hábitat, y eliminar gradualmente las extracciones de agua no sostenibles (Ortiz, 2013).

En los últimos 50 años se han observado cambios en las temperaturas extremas, que impactan en la agricultura del continente americano. La temperatura promedio aumentó 1 °C durante el siglo XX en Sudamérica, pero mostró una gran variabilidad espacial y estacional. Se produjo un aumento en la frecuencia de las noches cálidas durante el período 1960-2000 en América del Sur por debajo de los 10 °S. Igualmente, hubo una tendencia negativa en lluvias extremas en el sur de Perú y Chile. El número de días secos consecutivos también se notó en el sur de Perú y Bolivia. Los impactos del cambio climático dependerán de la interacción entre el clima, la topografía, los tipos de suelo, la disponibilidad de agua y el tipo de cultivos, ganado y árboles utilizados por los agricultores en sus agroecosistemas. La disminución de las precipitaciones, el aumento de las inundaciones o las temperaturas extremas (> 2 °C) afectarán a la agricultura y afectarán de manera negativa a la seguridad alimentaria en especial en las zonas semiáridas y áridas de Sudamérica. Cerca del 50% de las tierras agrícolas en el centro y sur de Chile y la costa peruana probablemente se verá afectada por la desertificación y la salinidad.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 12 10-11-20 15:44

Los escenarios climáticos futuros sugieren un calentamiento continuo (4,5-5 °C) para los Andes tropicales para el 2100, cuyas temperaturas pueden aumentar en altitudes elevadas, mientras que las lluvias probablemente aumentarán en la estación húmeda y disminuirán durante la estación seca, lo que afectará su ciclo hidrológico, y reducirá el agua para riego, así como la duración del período de crecimiento de los cultivos. La productividad de la agricultura puede disminuir entre 12 y 50% debido al cambio climático. Por ejemplo, la papa será vulnerable al calor que afecta el crecimiento de la planta y la iniciación del tubérculo, reduciendo así el rendimiento. El aumento de las temperaturas también afectará negativamente el contenido de materia seca y la formación de almidón en los tubérculos de este cultivo tan importante y cuyo principal centro de diversidad son los Andes de América del Sur. El aumento de la temperatura y la humedad aumentará el tizón tardío, la enfermedad más dañina de la papa, que puede expandirse por encima de los 3.000 m (donde ha estado ausente hasta recientemente). Una disminución de la humedad relativa en las tierras altas (especialmente en la meseta) puede ser una amenaza para la vegetación nativa, incluidos los pastos naturales y las plantas medicinales. El rendimiento del trigo de secano disminuirá entre 5 y 10% en el norte y centro de Chile debido a las sequías previstas (Neueschwander y Zabaleta, 2010). Los rendimientos de frijol, maíz, papa y remolacha azucarera descenderán desde el norte hasta el Biobío. La productividad de las pasturas anuales disminuirá en Atacama debido a la menor disponibilidad de agua en sus suelos. Los rendimientos de uva disminuirán en el norte de Chile debido a la precocidad de la cosecha resultante de las altas temperaturas durante el invierno. El impacto del cambio climático obliga a mejorar la tolerancia de los cultivos a la sequía y al calor. Pero al mismo tiempo, y particularmente por la incertidumbre del cambio climático, los agricultores dependen del buen rendimiento de sus cultivos en los años buenos, por lo que se necesitan cultivos que puedan funcionar en entornos difíciles, pero que también produzcan altos rendimientos cuando las condiciones sean más favorables (Alliance of CGIAR Centers, 2009). La biología molecular proporciona conocimiento y herramientas para el mejoramiento de cultivos y será cada vez más importante su uso en la identificación y selección de genes útiles. Aunque el fitomejoramiento debe basarse en los genes que la naturaleza y la evolución han proporcionado como materia prima, la agrobiodiversidad aún permanece amenazada. De las aproximadamente 50.000 especies de plantas comestibles, se utilizan no más de 50 en las dietas humanas, de estas, 15 suministran el 90% de los alimentos del mundo y solo tres (trigo, arroz y maíz) proporcionan el 60%. Si bien

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 13 10-11-20 15:44

los programas de fitomejoramiento han aumentado drásticamente el rendimiento de estos cultivos, han afectado su diversidad genética, haciéndolos vulnerables a las condiciones climáticas cambiantes. Los fitomejoradores deben enfrentar este reto asegurando que los nuevos cultivares tengan la diversidad genética necesaria para enfrentar a la incertidumbre climática y la resistencia a las cambiantes plagas y enfermedades. Los bancos de germoplasma contienen semillas u otros propágulos de plantas genéticamente diversas (cultivares mejorados y otros tradicionales de la selección de los agricultores, así como especies silvestres relacionadas con los cultivos) que están disponibles para los programas de fitomejoramiento. Este acervo genético es invaluable por adaptar los sistemas agrícolas a los climas futuros. Pero los campos de los agricultores también contienen una importante biodiversidad agrícola y, a diferencia de los bancos de germoplasma, se trata de un acervo genético cambiante y en evolución. Los programas de fitomejoramiento con un enfoque "evolutivo" deben aprovecharlo, desarrollando poblaciones diversas en varios sitios y dejarlas evolucionar. Los investigadores y los agricultores pueden seleccionar posteriormente en estas parcelas, pero la población principal continúa evolucionando, convirtiéndose de esta manera en una fuente única de material genético en continua adaptación.

2. AGROBIODIVERSIDAD

La agrobiodiversidad a nivel de genes, especies y agroecosistemas aumenta la resiliencia al clima cambiante. La promoción de la agrobiodiversidad sigue siendo, por tanto, crucial para la adaptación local y la resiliencia de los agroecosistemas. Las innovaciones en la gestión de la agrobiodiversidad que reducen la vulnerabilidad al cambio climático ayudan en gran medida a abordar este desafío y garantizarán un suministro suficiente de alimentos, piensos, fibras y biocombustibles en las próximas décadas. Aprender de la gestión actual de la agrobiodiversidad que protege los cultivos y los sistemas de cultivo contra las variaciones climáticas extremas anuales podría ayudar a mejorar su adaptación al clima futuro (Ortiz, 2011). Por ejemplo, el uso de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y datos de pasaporte permite identificar accesiones de bancos de germoplasma para sitios propensos al estrés, mientras que la caracterización disponible (incluida la caracterización del ADN) y los datos de evaluación ayudan a seleccionar accesiones prometedoras para adaptación a un estrés específico. La Estrategia de Identificación Focalizada de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 14 10-11-20 15:44

Germoplasma (FIGS) puede ayudar en este esfuerzo. FIGS utiliza coordenadas geográficas de los sitios de recolección (descriptores de pasaporte), datos ambientales (incluidos datos agroecológicos) y tecnología de SIG para seleccionar las accesiones de bancos de germoplasma de que podrían haber evolucionado bajo presiones de selección para las características de interés. Se ha utilizado en el descubrimiento de genes relacionados con la adaptación a la sequía en las habas (Khazaei *et al*., 2013) o la resistencia de la planta hospedante al pulgón ruso del trigo (El Bouhssini *et al*., 2013) y la roya del tallo en el trigo (Bari *et al*., 2012 y Endresen *et al*., 2012), entre otros.

La adaptación de la agricultura al cambio climático dependerá, de hecho, de hacer coincidir los cultivares con los climas futuros y el fitomejoramiento para hacer frente tanto a la variabilidad climática como a los extremos, pero también a promover la resiliencia y adaptabilidad de los agricultores. Por ejemplo, la información acerca de las ubicaciones de los ensayos de prueba en varios sitios y el rendimiento de los cultivos (o cualquier otra evaluación) proporciona medios para modelar los "impactos del estrés" en los cultivos en la población objetivo de los ambientes, así como para encontrar áreas donde los escenarios de cambio climático ya ocurren o pueden imitarse para establecer sitios de tamizado para seleccionar genotipos prometedores de poblaciones segregantes grandes (Ortiz, 2015a). Además, los datos fenotípicos confiables, las técnicas estadísticas apropiadas, y el manejo de la varianza asociada con las interacciones genotipo por medio ambiente permiten la partición en variables ambientales discretas en el tiempo, y se interpretan en términos de la respuesta única de un genotipo, en una etapa fenológica determinada, como es la variación de año a año en patrones meteorológicos. Igualmente, la genómica de poblaciones –que es un enfoque en el que se puntúan muchos marcadores moleculares en individuos de distintos sitios con el objetivo de encontrar marcadores de ADN con patrones de variación inusuales– ayuda a identificar genes subyacentes a características ecológicamente importantes (Ortiz, 2019).

Los parientes silvestres de cultivos (CWR) son los antepasados del cultivo y las especies relacionadas que proporcionan genes para la reproducción de plantas. Los CWR son fuentes útiles de diversidad que pueden mejorar el rendimiento de los cultivos para una mejor adaptación al estrés hídrico o temperaturas extremas, condiciones que se verán agravadas por el cambio climático (Ortiz, 2015b). Sin embargo, los CWR merecen una atención especial porque algunas de sus poblaciones *in situ* también pueden verse afectadas por el cambio climático, así como por factores como la sobreexplotación y la pérdida de hábitat debido a cambios

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 15 10-11-20 15:44

en el uso de la tierra. Por tanto, la preservación de los CWR ayudará a garantizar que la diversidad genética adecuada permanezca disponible para ampliar el acervo de cultivos y su uso posterior en el fitomejoramiento en un clima incierto. Independientemente de su bajo rendimiento y calidad para las dietas, la mayoría de los CWR tienen el potencial de proporcionar componentes básicos para mejorar genéticamente los cultivos modernos. Los CWR de bajo rendimiento esconden genes que pueden mejorar el rendimiento de cultivares para resistencia a patógenos y pestes, adaptación a ambientes abióticos estresantes y calidad del producto. Por ejemplo, las especies de tomates silvestres (*Solanum* spp.) de América del Sur (particularmente Bolivia, Chile y Perú) son fuentes importantes de genes que podrían mejorar la adaptación del tomate al calor, la sequía, las inundaciones y la salinidad, *Solanum chilense* puede crecer en el desierto debido a sus largas raíces primarias y extenso sistema de raíces secundarias, mientras que *S. pennellii* aumenta su eficiencia en el uso del agua en condiciones de sequía, y *S. cheesmanii* o *S. peruvianum* pueden crecer en áreas costeras saladas. Asimismo, *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* y *S. pimpinellifolium* poseen genes para aumentar el contenido del licopeno. Los frutos de *S. pimpinellifolium* también tienen un excelente equilibrio de sabor, 7-8 °Brix, un atractivo color rojo y un alto contenido de vitamina C, que son las características que determinan la calidad del tomate.

Encontrar la característica deseada en un banco de germoplasma se asemeja a veces a "encontrar una aguja en un pajar". Por ejemplo, una sola accesión del arroz silvestre *Oriza nivara* proporcionó resistencia al virus del achaparramiento (*Rice grassy stunt virus*, RGSV). Pequeños subconjuntos de accesiones de bancos de germoplasma que utilizan un muestreo adecuado pueden capturar la variación para características específicas, haciendo así más racional y eficiente la búsqueda de variaciones útiles (Ortiz, 2017). Una colección núcleo incluye un conjunto limitado de accesiones de bancos de germoplasma que representan con una repetitividad mínima la diversidad genética disponible de una especie de cultivo y sus parientes silvestres. Un criterio basado en la distancia genética permite la evaluación simultánea de todas las características que describen las accesiones del banco de germoplasma, proporcionan criterios intuitivos e interpretables para la evaluación de una colección central y la relacionan con su diversidad genética. El criterio de calidad del muestreo de la colección central depende de los objetivos y el tipo de subconjunto y debe basarse en datos que no se utilicen para seleccionar sus accesiones de bancos de germoplasma, que provienen principalmente de los sitios donde evolucionaron con el

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 16 10-11-20 15:44

tiempo. Por tanto, tienen rasgos adaptativos moldeados por las presiones de selección en los sitios de recolección.

La genómica de poblaciones se utilizó para estudiar la estructura de la población de las accesiones de sorgo en todo el mundo; se caracterizó con un mapa de todo el genoma basado en polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) y se identificaron patrones antiguos de difusión del cultivo a diversas regiones agroclimáticas de África y Asia (Morris et al., 2013). Esta investigación demostró que las limitaciones agroclimáticas y el aislamiento geográfico dieron forma al proceso de difusión. El acoplamiento de la genómica de poblaciones y la genética cuantitativa proporcionó un enfoque poderoso para descubrir aún más los mecanismos subyacentes a la adaptación como se encontró en la longitud de las ramas, que parece ser una característica agroclimática en el sorgo porque las panículas densas conducen a altos rendimientos, mientras que las panículas abiertas reducen la pérdida bajo la humedad. Además, si la asociación entre los alelos SNP y el sitio del cultivar local refleja la adaptación, sería factible predecir la variación fenotípica de los rasgos adaptativos. Al respecto, se ha demostrado que el medio ambiente representa una variación significativa de SNP independientemente de la distancia geográfica, y que los SNP predicen interacciones genotipo × medio ambiente en condiciones de sequía o toxicidad por aluminio (Lasky *et al*., 2015). Estas firmas genómicas de adaptación facilitarán la mejora del germoplasma y la reproducción asistida por marcadores. También se han observado patrones de adaptación local y la coevolución entre la cebada y los hongos que causan la mancha en red (o helmintosporiosis reticular) en este cultivo (Rau *et al*., 2015). Se obtuvieron resultados coevolutivos distintos en los mismos huéspedes incluso con una especialización de nicho y un estilo de vida muy similares de los patógenos. Esta investigación también pudo identificar clinas latitudinales de resistencia de la planta hospedante y presiones selectivas diferenciales en distintos sitios debido a sus respectivas condiciones ecológicas. Este conocimiento puede permitir desplegar eficazmente la resistencia de las plantas hospedantes mediante programas de fitomejoramiento. Estos hallazgos también respaldan un enfoque de mejoramiento evolutivo de plantas, en el que las poblaciones de cultivos con una gran diversidad genética se dejan a las fuerzas de la selección natural. De esta manera, las plantas favorecidas por el medio ambiente aportan más semilla a la próxima generación que las plantas que muestran baja aptitud, adaptando así su población resultante donde crecen; es decir, mejoramiento para la resiliencia al cambiante clima.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 17 10-11-20 15:44

3. RECURSOS FITOGENÉTICOS DE BOLIVIA, CHILE Y PERÚ EN SUS BANCOS DE GERMOPLASMA

La cordillera de los Andes ocupa la parte occidental de América del Sur bordeando toda la costa del Océano Pacífico. En la zona central, los Andes se ensanchan dando lugar a las altiplanicies y la puna, compartidas por Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Las precipitaciones en el altiplano disminuyen hacia el sur y la vegetación de matorral se vuelve escasa, dando paso finalmente a rocas estériles y arcilla roja seca (Paniagua-Zambrana *et al*., 2020). Esta tierra contiene varios salares, que son los restos secos de antiguos lagos.

Los bancos de germoplasma en Bolivia incluyen 15.620 accesiones de varios cultivos: raíces y tubérculos (achira, ahipa, arracacha, camote, mashua, oca, olluco, papa, yuca), cereales y leguminosas (arveja, frijol, haba, lupino, maíz, maní, trigo), granos altoandinos (cañihua, kiwicha, lupino, quinua), y frutales (principalmente durazno, pera, maracuyá y uva) y hortalizas (especialmente ajíes y cucurbitáceas) (FAO, 2019). En Chile se conservan 67.313 accesiones de 598 especies en sus bancos de germoplasma. El 88% de estas accesiones son de 259 especies cultivadas o de importancia para la alimentación y la agricultura, y el 12% restante corresponde a especies silvestres, por ejemplo: 33.794 entradas de cereales, 9.610 de leguminosas, 5.093 de hortalizas y 3.952 de forrajeras. Estas accesiones son principalmente cultivares locales o tradicionales, comerciales obsoletos y modernos, y en menor proporción líneas avanzadas de fitomejoramiento. Perú es uno de los centros más importantes de biodiversidad y domesticación de especies en el mundo (182 especies de plantas nativas domésticas y centenares de variedades autóctonas). Sus recursos fitogenéticos de diversos cultivos tienen una larga historia agrícola y cultural asociada a su manejo y uso sostenible. Por ejemplo, existen 9 especies domésticas, 3.000 variedades autóctonas y 91 especies silvestres de papas, cuya diversidad se debe a agricultores que las cultivan en diferentes ambientes y altitudes. Los bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos en Perú incluyen 53.922 accesiones de 255 especies de plantas alimenticias, frutales, medicinales, aromáticas, industriales, ornamentales, forrajeras y forestales. El Ministerio del Ambiente ha publicado líneas de base respecto de la diversidad nativa con fines de bioseguridad, o sea, se ha realizado una prospección del estado de los principales cultivos nativos con el fin de determinar los espacios de concentración de estas especies y así evitar cualquier riesgo que podría implicar la introducción de organismos vivos modificados (OVM) en su agricultura. Estas líneas de base proporcionan también información para la conservación y puesta en valor de la diversidad genética de cultivos como, *inter alia*, la calabaza y el zapallo

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 18 10-11-20 15:44

(MINAM, 2019), el maíz (MINAM, 2018), la papa (MINAM, 2019), o el tomate (MINAM, 2019), que deberían ser utilizadas en futuras políticas públicas relacionadas con este patrimonio genético.

Las operaciones de un banco de germoplasma moderno no se deben limitar a la recolección, caracterización, regeneración y documentación de las accesiones que conserva. Si los genes disponibles en estas accesiones se van a poner en una forma utilizable para el fitomejoramiento, es importante que la agenda de investigación a largo plazo de bancos de germoplasma incluya el desarrollo de poblaciones de premejora avanzadas (Ortiz, 2002). Los bancos de germoplasma deben también promover la conservación *in situ* para mantener la integridad genética de las poblaciones de plantas en sus sitios naturales. Asimismo, los bancos de germoplasma deben apoyar el manejo y la mejora de los recursos fitogenéticos en las fincas. Este enfoque de conservación evolutiva permite continuar la selección natural en diversos ambientes, tiene bajos costos directos, y aumenta el control de los agricultores en sus recursos genéticos. La conservación *in situ* ayuda a preservar la dinámica coevolutiva entre los cultivos y sus CWR, y las poblaciones de patógenos de cada especie (Frankel *et al*., 1995). Existen interacciones genéticas dinámicas para cambios microevolutivos en todo este sistema huésped-enfermedad. Por ejemplo, la coevolución entre una planta huésped silvestre y su población patógena residente es paralela a los cambios evolutivos en la población de patógenos que infectan a los cultivos (estos cambios pueden ser una respuesta, por ejemplo, a la introducción de nuevos cultivares que contienen genes de resistencia introgresados de sus CWR). Asimismo, los biotipos de patógenos del hospedador alternativo silvestre pueden invadir los cultivos, provocando una reacción de respuesta de los genes de resistencia silvestre, ya incorporados en cultivares mejorados, a la nueva población de los patógenos de los cultivos.

En resumen, los bancos de germoplasma deben facilitar proactivamente el uso de sus recursos fitogenéticos para evitar ser un museo de accesiones de plantas o un herbario vivo. Conservar y mejorar la biodiversidad vegetal es una parte esencial del mejoramiento genético sostenible de los cultivos. Por tanto, al promover la amplia utilización de los recursos fitogenéticos, los bancos de germoplasma están cumpliendo su función de mejorar el bienestar humano.

3.1. *Caso de estudio: quinua*

Hay varios cultivos de la región andina que tienen un alto nivel de adaptación a la sequía, las heladas, la salinidad, las plagas y las enfermedades.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 19 10-11-20 15:44

Estos granos, tubérculos, raíces, árboles frutales, aromáticos y plantas medicinales tienen un gran potencial para un mayor uso y para su transformación en una gama de productos procesados (Jacobsen *et al*., 2003). El desafío para mejorar el uso de estos cultivos es producirlos y procesarlos de manera sustentable en armonía con la naturaleza. Los cultivos andinos muestran una gran diversidad genética para su variabilidad de formas, colores y tamaños, así como para su calidad y cantidad de constituyentes primarios (almidones, proteínas, azúcares, ácidos grasos, minerales, vitaminas, glucósidos) y metabolitos secundarios (saponinas, alcaloides, taninos, oxalatos, carotenos, antocianinas, betalaínas). La investigación agroindustrial debe buscar genotipos para cada uso específico para que sean valorados apropiadamente por consumidores que no los conocen.

Los granos andinos con un alto valor nutricional, una excelente calidad proteica y la capacidad para transformarse en una amplia gama de productos incluyen la quinua *(Chenopodium quinoa* Willd.), la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), el amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y el altramuz andino o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). La quinua ha sido seleccionada por la FAO como uno de los cultivos destinados a ofrecer seguridad alimentaria en este siglo (Jacobsen, 2003). La variabilidad genética de la quinua es enorme, y los cultivares de quinua se adaptan al crecimiento desde el nivel del mar hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar (msnm), desde la latitud 40° S hasta la 2° N, y desde el clima frío de las tierras altas hasta las condiciones subtropicales. Esto hace posible seleccionar, adaptar y criar cultivares para una amplia gama de condiciones ambientales. Asimismo, la quinua ha sido considerada como un cultivo para el Sistema de Soporte de Vida Ecológico Controlado (CELSS) por sus altos valores proteicos (Schlick y Bubenheim, 1993). Este cultivo –rico en proteínas y con proporciones deseables de aminoácidos importantes– puede proporcionar una mayor versatilidad para satisfacer las necesidades de los humanos en misiones espaciales a largo plazo. El cultivar "Amarilla de Marangani" no tiene ningún aminoácido limitante (Repo-Carrasco *et al*., 2003). La composición de ácidos grasos de la quinua es similar a la del aceite de germen de maíz. El mayor porcentaje de ácidos grasos presentes en el aceite que se puede extraer de la quinua es el Omega 6 (ácido linoleico). Sus concentraciones de γ- y α-tocoferol son 797,2 y 721,4 ppm, respectivamente. Su alto contenido de fibra dietética tiene muchos efectos positivos para la salud, por ejemplo, puede reducir el nivel de colesterol en la sangre y mejorar la digestión.

Las especies del género *Chenopodium* son plantas herbáceas y tupidas que crecen en zonas áridas y semiáridas del mundo. Las principales

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 20 10-11-20 15:44

características de las quenopodiáceas constituyen su resistencia a las condiciones climáticas y edáficas adversas. Pueden sobrevivir en lugares donde ningún otro cultivo puede prosperar y desempeñar papeles diversos e importantes que incluyen cultivos para la producción de alimentos y piensos. La quinua es la especie más destacada de este género, ya que es un cultivo de usos múltiples, cuyas hojas e inflorescencias jóvenes se pueden consumir como verdura (fresca o cocida), además del grano, que es el producto principal. En el altiplano, la quinua silvestre o ajara es un recurso alimenticio para ovejas y llamas cuando la disponibilidad de forraje es escasa. Las especies de *Chenopodium* cultivadas y recolectadas han sido también importantes para las culturas Tiahuanaco e Inca. La quinua, en particular, ha cumplido diversos roles en estas culturas ancestrales de Sudamérica, además de su rol en la nutrición humana y animal, pues la quinua tenía una importancia sagrada.

La quinua se distribuye ampliamente en los Andes de Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y el norte de Argentina y Chile (Bonifacio, 2003). Sus CWR se encuentran ampliamente distribuidas en el altiplano central y norte, y en los valles interandinos, pero son pocas en el altiplano sur. Se pueden identificar ecotipos de quinua con características adaptativas específicas. Por ejemplo, los ecotipos de valle se caracterizan por tener ciclos de crecimiento prolongados, plantas altas, alto grado de resistencia al mildiú (*Peronospora farinosa*) y grano pequeño. Los ecotipos cerca del lago Titicaca tienen un menor contenido de saponinas, semillas más pequeñas, resistencia relativa al mildiú y ciclos de crecimiento intermedios. En el altiplano sur de Bolivia, los ecotipos tienen semillas grandes, sabor amargo, ciclos de crecimiento temprano a intermedio, alta susceptibilidad al mildiú y buena calidad culinaria y comercial. Los agricultores plantan quinua en las distintas zonas agroecológicas y fisiográficas del altiplano para evitar perder toda su cosecha en un año determinado en un área determinada. Por ello, el cultivo de la quinua tradicionalmente incluye la rotación con una mezcla de cultivares de quinua y otros cultivos como papa, cañihua, frijol, tarwi y cebada (Aguilar y Jacobsen, 2003). La selección de cultivares se determina según el clima, el suelo y la humedad del lugar.

El Sr. José Graziano da Silva, entonces Director General de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), hizo alusión a la quinua como un gran aliado en la lucha contra el hambre en su discurso con motivo del lanzamiento del Año Internacional de la Quinua en 2013. El Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) y la FAO publicaron en

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 21 10-11-20 15:44

2014 el libro *Estado del arte de la quinua en el mundo* (Bazile *et al*., 2014) para reunir los avances recientes en el conocimiento de este cultivo mediante la investigación. Esta publicación está estructurada en seis partes (botánica, domesticación y circulación de los recursos genéticos; aspectos agronómicos y ecológicos, aspectos técnicos y nutricionales; aspectos sociales y económicos; contexto del cultivo en su área originaria; y experimentación y difusión actual) que contienen los conocimientos actuales del cultivo de quinua respecto de estos temas. Igualmente, Slow Food y FAO divulgaron en la publicación *Quinoa in the Kitchen* (Cauda *et al*, 2013) el conocimiento acerca de la quinua y con el objetivo de promover su uso para la eliminación del hambre y la desnutrición. Sus autores consideran que

> *Un elemento central del proceso es la gastronomía en sí y la idea de que esta ciencia holística y multidisciplinaria, que abarca todo, desde la agricultura hasta la historia, desde la economía hasta la antropología, desde la botánica hasta el arte culinario, puede ser una fuerza liberadora para las comunidades más afectadas por la desnutrición. Las tradiciones ancestrales y la protección de la biodiversidad a través del trabajo en el campo y el uso en la cocina, como en el caso de la quinua, pueden contribuir a liberar a muchas personas en el mundo de condiciones de inseguridad alimentaria*.

La quinua es producida principalmente por pequeños agricultores en Perú, que utilizan sistemas tradicionales de producción, procesamiento, almacenamiento y distribución (Mujica *et al*., 2003). Estos sistemas generan rendimientos relativamente bajos, que varían según las diferentes ubicaciones y años. Por tanto, el objetivo debe ser aumentar la producción y la productividad de la quinua, al mismo tiempo que se mantiene la seguridad ambiental y se mejora la seguridad alimentaria, especialmente cuando la demanda por los granos de este cultivo ha aumentado considerablemente durante los últimos años. El consumo de quinua en Perú está relacionado con la facilidad de obtención de sus granos y está influenciado por el grupo socioeconómico, la ubicación regional de las familias y el costo (Ayala, 2003). En las familias rurales que viven en un nivel mínimo de subsistencia, las necesidades de energía alimentaria primaria se cubren con raíces y tubérculos (papa, oca, mashua y olluco) y granos andinos (quinua, cañihua, kiwicha y tarwi). En las regiones urbanas se consumen tubérculos, principalmente papa, y productos alimenticios agroindustriales derivados

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 22 10-11-20 15:44

del trigo procesado (pan, fideos y pastas), y granos andinos. La quinua tiene una historia antigua de cultivo y consumo en Bolivia. La principal localización del cultivo y producción de quinua se encuentra en las tierras del altiplano cercanas al lago Titicaca. En los últimos años, este cultivo ha pasado de ser para consumo nacional a convertirse en un cultivo de exportación. Aunque es un cultivo relativamente desconocido en la agricultura de Chile, la quinua se cultiva en la zona andina del norte del país y en las tierras costeras de secano de la zona centro sur (Delatorre-Herrera, 2003). La zona con mayor cultivo de quinua se encuentra en el altiplano de Iquique en la Región de Tarapacá.

3.2. *Diversidad de la quinua: fenotípica y genómica*

La caracterización es el registro de características de accesiones claramente identificables, que son altamente heredables y ambientalmente estables, mientras que la evaluación se refiere a la descripción agronómica del material en un banco de germoplasma, para rasgos cuya expresión puede verse afectada por el medio ambiente y que generalmente son importantes para los fitomejoradores e investigadores en el mejoramiento genético de los cultivos. Los principales objetivos de la caracterización son: describir las accesiones y establecer las características de diagnóstico de las accesiones, clasificar las accesiones en grupos utilizando medios adecuados, evaluar las interrelaciones entre accesiones o entre rasgos y entre grupos geográficos de accesiones, estimar el grado de variación en la colección del banco de germoplasma, e identificar duplicados en un banco de germoplasma.

La caracterización y evaluación de los bancos de germoplasma comienza con la adopción adecuada de una lista de descriptores, que es la recopilación de descriptores de plantas estandarizados para una especie o cultivo. La lista de descriptores de quinua incluye características fenotípicas identificadas después de la caracterización y evaluación de la amplia variabilidad genética almacenada dentro de la colección de germoplasma de quinua boliviana (Biodiversity International, 2013). Cada descriptor consta de un nombre, estado y una escala que explica cómo se debe medir y registrar el descriptor. La mayoría de los descriptores para la caracterización y evaluación son específicos de la especie. Las listas de descriptores representan una herramienta importante para un sistema de caracterización estandarizado, que proporciona un formato internacional y un "lenguaje" universalmente entendido para los datos de recursos fitogenéticos. La adopción de este esquema para la codificación de datos permite un

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 23 10-11-20 15:44

medio rápido, confiable y eficiente para el intercambio, almacenamiento, recuperación y comunicación de información, y ayuda a la utilización de germoplasma. Por ejemplo, se ha observado variación significativa entre las accesiones de quinua para todas las características continuas, así como que las dimensiones de la planta y la inflorescencia están significativamente correlacionadas, pero las asociaciones entre las duraciones de las fases de desarrollo de la planta son débiles (Risi y Galwey, 1989ª). Estos resultados sugieren que existe un gran margen para la manipulación del patrón de desarrollo por medio del fitomejoramiento.

El número de descriptores seleccionados depende del cultivo (el número de características estables identificables que se pueden utilizar como descriptores) y de la importancia de la descripción del cultivo. Las listas de descriptores incluyen la descripción básica de las características y las diferentes clases de su expresión (caracterización), o cómo medir el rango de su variación (evaluación). Los descriptores son cualitativos –típicamente morfológicos, fisiológicos y moleculares (bioquímicos y de ADN)– y cuantitativos que muestran variación continua, sujetos a factores ambientales (por ejemplo, rendimiento y componentes, resistencia de la planta hospedante y tolerancia al estrés), a menudo utilizados en la clasificación, incluso cuando el ambiente o la interacción genotipo por ambiente afecta significativamente su expresión fenotípica. Los descriptores de caracterización deben mostrar valores altos de repetibilidad (R_C) porque se ven afectados relativamente poco por el ambiente y por la interacción genotipo por ambiente.

Se necesita una caracterización adecuada de las accesiones de los bancos de germoplasma para facilitar la utilización del germoplasma por los usuarios finales. La evaluación de la diversidad genética de la variación entre las accesiones de los bancos de germoplasma es el objetivo principal de la caracterización del germoplasma; es decir, la capacidad de distinguir accesiones entre sí como un primer paso para identificar esas accesiones para una exploración adicional de características útiles. La descripción sistemática de cada accesión debe llevar a la clasificación en grupos pequeños y bien organizados de accesiones de bancos de germoplasma que facilitará su utilización en la mejora genética del germoplasma. En este sentido, una colección núcleo es un conjunto limitado de accesiones que representan, con un mínimo de repetitividad, la diversidad genética de una especie de cultivo y sus CWR. La colección núcleo de quinua de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA, Puno, Perú) se definió en un procedimiento de muestreo no superpuesto estratificado geográficamente e incluye 103 ecotipos o cultivares locales que capturan la mayor parte de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 24 10-11-20 15:44

la variabilidad genética disponible en este germoplasma peruano (Ortiz *et al*., 1998). Las accesiones se agruparon por el color de tallo o tipo y color de inflorescencia. Dentro de cada uno de estos subgrupos las accesiones fueron clasificadas por su departamento de recolección, lo que indica que el método de muestreo fue apropiado para elegir las accesiones de la colección núcleo de quinua de la UNA (Ortiz *et al*., 1999). La varianza del índice de diversidad fenotípica utilizando descriptores de evaluación entre departamentos (0,0022) fue más pequeña que la varianza dentro de departamentos (0,0144). El Φ_{FS} de Wright –que representa la correlación entre las accesiones genéticas aleatorias dentro de un grupo en relación con las accesiones aleatorias de la población en general– se calculó dividiendo el cuadrado medio entre conglomerados y el cuadrado medio total del análisis de varianza. El Φ_{FS} de Wright fue 0,1325, que confirmó que gran parte de la variación entre las accesiones se debió a diferencias dentro de los departamentos y no entre ellos. Esta colección núcleo es un punto de partida para un mayor uso de los recursos genéticos de quinua, como se demostró con su tamizado para la germinación de semillas en una solución 0,6 M de NaCl (Ortiz y Stolen, 1997). Las cinco accesiones más promisorias fueron de distintas localidades del departamento de Puno.

Las técnicas de análisis multivariante, como el análisis de componentes principales (PCA), son más apropiadas que los análisis univariados cuando se mide más de una variable en cada individuo para definir una colección núcleo. Si bien los análisis univariados consideran las características individualmente, el PCA puede revelar relaciones entre caracteres, como características vegetativas y de inflorescencia o determinar cómo varían los cultivares y accesiones de un cultivo como la quinua en términos de todas las variables consideradas en conjunto. Por ejemplo, se midieron o anotaron características discretas y continuas relacionadas con la morfología y pigmentación de las plantas y con la duración de las fases de desarrollo en una colección diversa de germoplasma de quinua. El PCA de las características continuas encontró que su primer componente distinguía aquellas accesiones que germinan rápidamente para producir plantas pequeñas con inflorescencias pequeñas, y el segundo componente aquellas que producían una inflorescencia grande con relativa rapidez, pero no había un corte claro entre variables o componentes importantes y no importantes (Risi y Galwey, 1989b). Asimismo, el análisis canónico de las características continuas proporcionó criterios para distinguir ecotipos de quinua, pero sugirió que estos eran artificiales con la excepción de un tipo subtropical de la región de los Yungas de Bolivia. Un análisis de conglomerados jerárquicos de todas

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 25 10-11-20 15:44

las características confirmó que el cultivar "Amarilla de Marangani" era inusual. Las accesiones cercanas al nivel del mar en Chile formaron un grupo particularmente homogéneo. También se utilizaron tres métodos multivariados para analizar la diversidad del germoplasma de quinua boliviano, que llevaron a describir y agrupar conjuntos de individuos según sus múltiples características y sus interrelaciones (Rojas, 2003). Aproximadamente el 92% de las accesiones se clasificaron fácilmente en los siete grupos identificados mediante el análisis de conglomerados, y las accesiones clasificadas incorrectamente fueron identificadas y asignadas a un grupo más apropiado.

La evaluación de la biodiversidad en los bancos de germoplasma se basa fundamentalmente en la variación genética. La base genética de los descriptores es el concepto subyacente para la caracterización y evaluación de los recursos genéticos; es decir, los rasgos descritos se heredan (o se transmiten de generación en generación dentro de una accesión o se espera que aparezcan en la descendencia de un cruzamiento). Idealmente, la caracterización y evaluación del germoplasma debería basarse en la descripción de las accesiones del banco de germoplasma en términos de genes y alelos en lugar de descriptores fenotípicos. Los marcadores de ADN son descriptores que normalmente ofrecen resultados altamente reproducibles debido a la ausencia total de influencia ambiental en su expresión. Además, existe potencialmente un número casi ilimitado de marcadores de ADN, a diferencia de una gama muy limitada de las características visibles que son útiles como descriptores. Los marcadores de ADN son herramientas importantes para evaluar la biodiversidad, identificar duplicados, sondear vías evolutivas y estimar relaciones genéticas entre accesiones de un banco de germoplasma. Los marcadores de ADN ayudan a determinar la variación genética dentro de una población y, por tanto, brindan una herramienta de manejo para identificar distintas accesiones con la máxima variación genética, donde ese sea el objetivo. Los materiales únicos se pueden perder o descartar debido a la incapacidad de evaluar adecuadamente la diversidad genética del cultivo en un banco de germoplasma. Además, la evaluación de esa diversidad puede revelar el impacto del fitomejoramiento en los acervos genéticos de los cultivos, lo que puede reducir o ampliar su base genética y cambiar sus antecedentes genéticos.

El tamaño del genoma en el género *Chenopodium* varía 2,65 veces: de 0,31 pg en *C. aristatum* (2*x*) a 0,82 pg en *C. album* "Chandigarh" (4*x*) (Atul *et al*., 2007). La quinua es una especie anfiploide ($2n = 4x = 36$) con un genoma bastante pequeño. El tamaño del genoma entre las accesiones de quinua entre las poblaciones con el genoma más grande y pequeño varía

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 26 10-11-20 15:44

en 5,9% (valor 1C: 1,005–1,596 pg) (Kolano *et al*., 2012). El genoma más grande se encontró en la población C4 de Chile (promedio 3,077 pg / 2C) y el más pequeño en la población peruana P2 (promedio 2,905 pg / 2C). La variación no se correlacionó con el sitio de recolección. La variación entre los cultivares de quinua y los de la especie de Mesoamérica *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae* ("Huauzontle", "Quelite" y "Chia roja") fue también evidente en el tamaño de sus cromosomas y la posición de sus satélites, y la longitud de sus respectivos genomas (Palomino *et al*., 2008).

El primer mapa de ligamiento de la quinua consistió en 38 grupos de ligamiento (LG) que cubrieron 913 cM con 275 marcadores, incluidos 200 microsatélites (SSR) (Jarvis *et al*., 2008). Se observó distorsión de la segregación en la población de mapeo para varios *loci* marcadores, lo que indicó posibles regiones cromosómicas asociadas con la selección o letalidad gametofítica. Los valores de heterocigosidad (H) de estos SSR varían de 0,12 a 0,90, con un valor medio de 0,57. Se utilizaron SSR también para caracterizar y cuantificar la diversidad genética en 28 accesiones de quinua del altiplano y 31 de la costa chilena (Fuentes *et al*., 2009). Se detectaron 150 alelos entre la accesión de quinua, con un rango de 2 a 20 alelos por *locus* y un promedio de 7,5 alelos por *locus*. Tanto los análisis de conglomerados (UPGMA) como los de componentes principales separaron las accesiones en dos grupos discretos. El primer grupo contiene accesiones de quinua del norte (tierras altas andinas) y el segundo grupo está formado por accesiones del sur (tierras bajas o costeras). Tres accesiones de Europa se clasificaron en el grupo de la quinua del sur. Este análisis de diversidad permitió, por tanto, establecer las relaciones dentro y entre las accesiones de quinua del norte y sur de Chile.

Maughan *et al.* (2012) identificaron 14.178 SNPs utilizando un protocolo de reducción genómica, así como desarrollaron 511 ensayos de SNP funcionales. Estos ensayos de SNP se basan en el sistema de genotipado KASPar (Competitive Allele Specific PCR) y se detectaron utilizando la plataforma Fluidigm. La frecuencia de alelos menores (MAF) de los SNPs varió entre 0,02 y 0,50, y con un MAF promedio de 0,28 en 113 accesiones de quinua. El análisis de la estructura de este panel de diversidad de la quinua definió dos subgrupos principales correspondientes a los ecotipos de quinua andina y costera. El mapeo de ligamiento de los SNP en dos poblaciones de líneas endogámicas recombinantes produjo un mapa integrado con 29 grupos de ligamiento, de estos, 20 fueron grandes, y que abarcan 1.404 cM con una densidad de 3,1 cM por SNP. Estas son importantes herramientas genómicas para el fitomejoramiento y el análisis genético de las características agronómicas de la quinua.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 27 10-11-20 15:44

El ensamblaje de una secuencia del genoma de referencia a escala cromosómica de alta calidad para la quinua se obtuvo mediante la secuenciación en tiempo real de una sola molécula en combinación con mapas ópticos, de contacto cromosómico y genéticos (Jarvis *et al*., 2017). Esta secuencia del genoma facilitó la identificación del factor de transcripción que probablemente controle la producción de saponinas triterpenoides antinutricionales que se encuentran en las semillas de quinua, incluida una mutación que parece causar un empalme alternativo y un codón de parada prematuro en las cepas de quinua dulce.

3.3. *Mejoramiento genético de la quinua con énfasis en adaptación al estrés*

Jacobsen *et al*. (2003) notaron que la quinua puede crecer con solo 200 mm de lluvia en arena pura y observaron que 14 líneas con tolerancia aún mayor a la sequía tenían varios mecanismos de adaptación a la sequía. Los experimentos con macetas de invernadero mostraron que el estrés salino indujo mejores tasas de crecimiento absoluto y relativo, y que la planta desarrolló mecanismos de adaptación a la sequía por medio de una alta eficiencia en el uso del agua y altas proporciones de brotes de raíces. La resistencia estomática y el potencial hídrico de las hojas aumentaron con un mayor nivel de estrés. La fluorescencia de clorofila variable a máxima y el análisis de extinción mostraron que las plantas deshidratadas están menos protegidas de la fotoinhibición (Bosque Sánchez *et al*., 2003). La quinua también tiene un alto grado de tolerancia a las heladas, sobreviviendo a –8 °C hasta por 4 horas, dependiendo de la fase fenológica y el cultivar. Los cultivares de quinua de América del Sur tienen una respuesta facultativa de días cortos de la emergencia a la floración. Sus fases de desarrollo (emergencia a iniciación floral, iniciación floral a primera *antesis* y primera *antesis* a madurez fisiológica) son sensibles al fotoperíodo, que también afecta con la temperatura su tasa de aparición de hojas (LAR) (Bertero, 2003). Los filocronos más cortos (tiempo térmico entre la aparición de dos hojas sucesivas en el tallo principal) asociados con cultivares de floración temprana se observaron en cultivares de climas secos o fríos, y los más largos se observaron en cultivares de climas más húmedos y cálidos. La inhibición del crecimiento de la semilla fue más fuerte cuando se experimentaron días largos en combinación con altas temperaturas.

Los cultivares comerciales tradicionales son compuestos o mezclas de genotipos seleccionados con uniformidad en algunos caracteres como

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 28 10-11-20 15:44

color de grano. La colecta y selección (masal e individual) dentro del germoplasma, hibridación, retrocruzas e inducción de mutaciones son los métodos de fitomejoramiento utilizados en la quinua. Los cruzamientos simples y dobles asistidos por marcadores para estimar distancias genéticas también se han usado en el mejoramiento genético de la quinua.

4. CONCLUSIÓN

La conservación de los recursos fitogenéticos asegura que la variación genética contenida dentro de las especies se mantenga y esté disponible para su uso. Su objetivo es por tanto preservar el rango disponible de diversidad genética para una especie porque los recursos genéticos son una rica fuente de variación de carácter útil para su utilización posterior en el fitomejoramiento. El muestreo de accesiones de un cultivo disponible en un banco de germoplasma puede basarse en un análisis de diversidad y variabilidad que se base en datos de caracterización o evaluación, marcadores de ADN o ambos. Los subconjuntos (por ejemplo, colección núcleo) deben definirse para el conjunto de cultivos de un banco de genes después de ensayos que aseguren que las diferencias entre ellos son verdaderamente genéticas. La evaluación precisa de diversas accesiones de bancos de germoplasma en ensayos bien diseñados es esencial para identificar los recursos genéticos más relevantes para su uso posterior. Esta información debe compartirse amplia y rápidamente con los usuarios para lograr un impacto máximo, ya que se debe saber el potencial de las accesiones de los bancos de germoplasma para aprovechar al máximo esos recursos fitogenéticos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, P.C., Jacobsen, S-E. 2003. Cultivation of quinoa in the Peruvian Altiplano. *Food Reviews International* 19:31-41.

Alliance of CGIAR Centers. 2009. Climate, Agriculture and Food Security: A strategy for Change. Challenge Program on Climate Change, Agriculture and Food Security, Copenhague, Dinamarca. 46 pp.

Atul, B., Shukla, S., Ohri, D. 2007. Genome size variation in some cultivated and wild species of *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Caryologia* 60: 245-250

Ayala Macedo, G. 2003. Consumption of quinoa in Peru. *Food Reviews International* 19:221-227.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 29 10-11-20 15:44

Bari, A.; Street, K.; Mackay, M.; Endresen, D.T.F.; De Pauw, E., Amri, A. 2012. Focused identification of germplasm strategy (FIGS) detects wheat stem rust resistance linked to environmental variables. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59:1465-1481.

Bazile, D.; Bertero, D.; Nieto, C. (eds.). 2014. Estado del Arte de la Quinua en el Mundo en 2013. FAO, Santiago de Chile, Chile-CIRAD, Montpellier, Francia. 724 pp.

Bertero, H.D. 2003 Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19:87-97.

Biodiversity International, FAO, PROINPA, INIAF, IFAD. 2013. Descriptors for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and wild relatives. Bioversity International, Roma, Italia – Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia – Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia – International Fund for Agricultural Development, Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. 48 pp.

Bonifacio, A. 2003. *Chenopodium* sp.: genetic resources, ethnobotany, and geographic distribution. *Food Reviews International* 19:176-189.

Bosque Sánchez, H.; Lemeur, R.; Van Damme, P.; Jacobsen, S-E. 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (Chenopodium quinoa willd.). *Food Reviews International* 19:111-119.

Cauda, C.; Micheletti, C.; Minerdo, B.; Scaffidi, C.; Signoroni, E. 2013. Quinoa in the Kitchen. Slow Food Editore, Cuneo, Italia. 96 pp.

Delatorre-Herrera, J. 2003. Current use of quinoa in Chile. *Food Reviews International* 19:155-165.

El Bouhssini, M.; Street, K.; Amri, A.; Mackay, M.; Ogbonnaya, F.C., Omran, A., Abdalla, O.; Baum, M.; Dabbous, A.; Rihawi, F. 2011. Sources of resistance in bread wheat to Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) in Syria identified using the Focused Identification of Germplasm Strategy (FIGS). *Plant Breeding* 130:96-97.

Endresen, D.T.F.; Street, K.; Mackay, M.; Bari, A.; Amri, A.; De Pauw, E.; Nazari, K.; Yahyaoui, A. 2012. Sources of resistance to stem rust (Ug99) in bread wheat and durum wheat identified using Focused Identification of Germplasm Strategy. *Crop Science* 52:764-773.

FAO. 2009. The State of Plant Genetic Resources – Country Briefings. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, Italia http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/seeds-pgr/sow/sow2/country-reports/en/#americas

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 30 10-11-20 15:44

Frankel, O.; Brown, A.H.D.; Burdon, J.J. 1995. The Conservation of Plant Biodiversity. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 299 pp.

Fuentes, F.F.; Martínez, E.A.; Hinrichsen, P.V.; Jellen, E.N.; Maughan, P.J. 2009. Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa germplasm using multiplex fluorescent SSR. *Conservation Genetics* 10:369-377.

Jacobsen, S-E. 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19:167-177.

Jacobsen, S-E.; Mujica, A.; Jensen, C.R. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19:99-109.

Jacobsen, S-E.; Mujica, A.; Ortiz, R. 2003. The global potential for quinoa and other Andean crops. *Food Reviews International* 19: 139-148.

Jarvis DE Kopp, O.R.; Jellen, E.N.; Mallory, M.A.; Pattee, J.; Bonifacio, A.; Coleman, C.E.; Stevens, M.R.; Fairbanks, D.J.; Maughan, P.J. 2008. Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Genetics* 87:39-51.

Jarvis, D.E.; Ho, Y.S.; Lightfoot, D.J.; Schmöckel, S.M.; Li, B., Borm, T.J.A.; Ohyanagi, H.; Mineta, K., Michell, C.T.; Saber, N.; Kharbatia, N.M.; Rupper, R.R.; Sharp, A.R.; Dally, N., Boughton, B.A., Woo, Y.H., Gao, G., Schijlen, EGWM., Guo, X.; Momin, A.A.; Negrão, S.; Al-Babili, S.; Gehring, C.; Roessner, U.; Jung, C.; Murphy, K.; Arold, S.T.; Gojobori, T.; Van der Linden, C.G.; Van Loo, E.N.; Jellen, E.N.; Maughan, P.J.; Tester, M. 2017. The genome of *Chenopodium quinoa*. *Nature* 542:307-312.

Khazaei, H.; Street, K., Bari, A.; Mackay, M.; Stoddard, F.L. 2013. The FIGS (Focused Identification of Germplasm Strategy) approach identifies traits related to drought adaptation in *Vicia faba* genetic resources. *PLoS ONE* 8: e63107. DOI:10.1371/journal.pone.0063107

Kolano, B.; Siwinska, D.; Gómez Pando, L.; Szymanowska-Pulka, J.; Maluszynska, J. 2012. Genome size variation in *Chenopodium quinoa* (Chenopodiaceae). *Plant Systematics and Evolution* 298:251-255.

Lasky, J.R.; Upadhyaya, H.D.; Ramu, P.; Deshpande, S.; Hash, C.T.; Bonnette, J.; Juenger, T.E.; Hyma, K.; Acharya, C.; Mitchell, S.E.; Buckler, E.S.; Brenton, Z.; Kresovich, S.; Morris, G.P. 2015. Genome-environment associations in sorghum landraces predict adaptive traits. *Science Advances* 1: e1400218. DOI: 10.1126/sciadv.1400218

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 31 10-11-20 15:44

Mateo, N.; Ortiz, R. 2012. Agriculture, tropical (the Americas). En Beavis SG, Dougherty M, Gonzales T (eds.) The Encyclopedia of Sustainability. Vol. 8 The Americas and Oceania: Assessing Sustainability. Berkshire Publishing, Great Barrington, Massachusetts. pp. 2-5.

Maughan, P.J.; Smith, S.M.; Rojas-Beltrán, J.A.; Elzinga, D.; Raney, J.A.; Jellen, E.N.; Bonifacio, A.; Udall, J.A.; Fairbanks, D.J. 2012. Single nucleotide polymorphism identification, characterization, and linkage mapping in quinoa. *The Plant Genome* 5:114-125.

MINAM. 2018. Línea de Base de la Diversidad Genética del Maíz Peruano con Fines de Bioseguridad. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. 144 pp.

MINAM. 2019. Servicio de Consultoría para la Elaboración de la Línea de Base de la Diversidad Genética de la Calabaza/Zapallo: Prospección de la Diversidad, Estudio Socioeconómico, Ecológico de Organismos y Microorganismos, Flujo de Genes y Sistematización. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. 327 pp.

MINAM. 2019. Servicio de Consultoría para la Elaboración de la Línea de Base de la Diversidad Genética del Tomate Nativo: Prospección de la Diversidad, Estudio Socioeconómico, Ecológico de Organismos y Microorganismos, Flujo de Genes y Sistematización. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. 246 pp.

MINAN. 2019. Línea de Base de la Diversidad Genética de la Papa Peruana con Fines de bioseguridad. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. 125 pp.

Morris, G.P.; Ramu, P.; Deshpande, S.P; Hash, C.T; Shah, T.; Upadhyaya, H.D.; Riera-Lizarazu, O.; Brown, P.J.; Acharya, C.B.; Mitchell, S.E.; Harriman, J.; Glaubitz, J.C.; Buckler, E.S.; Kresovich, S. 2013. Population genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum. *Proceedings National Academy of Sciences USA* 110:453-458.

Mujica, A.; Marca, S.; Jacobsen, S-E. 2003. Current production and potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Peru. *Food Reviews International* 19:149-154.

Neueschwander Alvarado, A.; Zabaleta Caicheo, J.F. 2010. El Cambio Climático en el Sector Silvoagropecuario de Chile. Fundación para la Innovación Agraria, Santiago, Chile. 123 pp.

Ortiz, R. 2002. No just seed repositories: a more pro-active role for gene banks. Gene Conserve 1:21-24. http://www.geneconserve.pro.br/site/pags/artigos-volumes.php?ano=2002

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 32 10-11-20 15:44

Ortiz, R. 2011. Agrobiodiversity management for climate change. En Lenné J, Wood D (eds.) Agrobiodiversity Management for Food Security: Critical Review. CAB International, Wallingford, Reino Unido. pp. 189-211.

Ortiz, R. 2013. El cambio climático y la producción agrícola. Notas Técnicas. ESG-TN-383. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington DC. 30 pp.

Ortiz, R. 2015a. Plant Breeding in the Omics Era. Springer International Publishing, Nueva York. 249 pp.

Ortiz, R. 2015b. The importance of crop wild relatives, greater diversity and genetic potential for stress tolerance. En: Redden, R.; Yadav, S.S.; Dulloo, E.; Maxted, N.; Guarino, L., Smith, P. (eds.) Crop Wild Relatives and Climate Change. Wiley-Blackwell, Nueva York. pp. 79-86.

Ortiz, R. 2017. Leveraging agricultural biodiversity for crop improvement. En Hunter D, Guarino L, Spillane C, McKeown PC (eds.) Routledge Handbook of Agricultural Biodiversity. Routledge/Taylor & Francis Group, Oxford, Reino Unido. pp. 285-297.

Ortiz, R. 2019. Role of plant breeding to sustain food security under climate change. En: Yadav, S.S.; Redden, R.; Hatlfield, J.L.; Ebert, A.W.; Hunter, D. (eds.) Climate Change and Food Security in 21 Century. Wiley-Blackwell, Nueva York. pp. 145-158.

Ortiz, R.; Madsen, S.; Ruiz-Tapia, E.N.; Mujica-Sánchez, A.; Christiansen JL, Stølen O (1999) Validating a core collection of Peruvian quinoa germplasm. Genetic Resources and Crop Evolution 46:285-290.

Ortiz, R.; Ruiz-Tapia, E.N.; Mujica-Sánchez, A. 1998. Sampling strategy for a core collection of Peruvian quinoa germplasm. *Theoretical and Applied Genetics* 96:475-483.

Ortiz, R.; Stølen, O. (eds.) .1997. Spelt and Quinoa. Proceedings of Working Group Meeting for Crop Development in Cool and Wet Region of Europe - Small grains and Pseudo-cereals. Centrum voor Plantenveredelings- en Reproduktieonderzoek - Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, Países Bajos, 24-25 October 1997. The Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg, Dinamarca. 133 pp.

Palomino, G.; Trejo Hernández L.Ö.; De la Cruz Torres, E. 2008. Nuclear genome size and chromosome analysis in *Chenopodium quinoa* and *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae*. *Euphytica* 164:221-230.

Paniagua-Zambrana, N.Y.; Bussmann, R.W.; Echeverría, J. 2020. Ethnobotany of Mountain Regions: Andes-Bolivia, Chile, Peru. En: Paniagua-Zambrana NY, Bussmann RW (eds.), Ethnobotany

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 33 10-11-20 15:44

of the Andes, Ethnobotany of Mountain Regions. Springer Nature Switzerland AC, Suiza. pp. 3-81. DOI: 10.1007/978-3-030-28933-1_2

Rau, D.; Rodríguez, M.; Murgia, M.L.; Balmas, V.; Bitocchi, E.; Bellucci, E.; Nanni, L.; Attene, G.; Papa, R. 2015. Co-evolution in a landrace meta-population: two closely related pathogens interacting with the same host can lead to different adaptive outcomes. Scientific Reports 5: 12834. DOI: 10.1038/srep12834

Repo-Carrasco, R.; Espinoza, C.; Jacobsen, S-E. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International* 19:1-7.

Risi, C. J.; Galwey, N.W.1989b. The pattern of genetic diversity in the crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). II. Multivariate methods. *Euphytica* 41:135-145.

Risi, C.J.; Galwey, N.W. 1989a. The pattern of genetic diversity in the crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). I. Associations between characteristics. *Euphytica* 41:147-162.

Rojas, W. 2003. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa Germplasm, *Food Reviews International* 19:9-23.

Schlick, G.; Bubenheim, D.L. 1993. Quinoa: an emerging "new" with potential for CELSS. NASA Technical Paper 3422. National Aeronautics and Space Administration-Ames Research Center, Moffett Field, California.

Van Ginkel, M.; Sayer, J., Sinclair, F.; Aw-Hassan, M.A.; Bossio, D.; Craufurd, P.; El Mourid, M.; Haddad, N.; Hoisington, D.; Johnson, N.; León, Velarde, C.; Mares, V.;Mude, A.; Nefzaoui, A.; Noble, A., Rao, KPC.; Serraj, R., Tarawali, S.; Vodouhe, R., Ortiz, R. 2013. An integrated agroecosystem and livelihoods approach for the poor and vulnerable in dry areas. *Food Security* 5:751-767.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 34 10-11-20 15:44

LA KAÑIWA O KAÑAWA (*CHENOPODIUM PALLIDICAULE* AELLEN), EL PEQUEÑO GRANO ANDINO

Mario E. Tapia N.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 35 10-11-20 15:44

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 36 10-11-20 15:44

INTRODUCCIÓN

La kañiwa, grano andino de los Andes, constituye un valioso recurso en la alimentación por su alto valor en proteínas de alta calidad, comparables a las de la quinua y con la ventaja que su semilla no tiene ese sabor amargo que le da la saponina, presente en las variedades de quinua (Canahua *et al*., 2003).

En la bibliografía se usa indistintamente el nombre de kañiwa o kañawa relacionadas con el origen del vocablo. Kañiwa es propia de las regiones de idioma quechua y kañawa en la población de habla aymara. En regiones donde el dominio inca había sido reciente a la llegada de los españoles, aún persiste la denominación kañawa, como es el caso de la región norte del altiplano de Puno en Perú.

La kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es, sin embargo, una de las especies agrícolas menos estudiadas y en muchas oportunidades se le ha confundido con la quinua (Vargas, 1938). Bertonio, citado por Hunziker (1952) en su vocabulario de la lengua aymara de 1612, denomina incorrectamente quinua a la kañiwa y al definir el significado de los vocablos "isualla hupa" la menciona como: "quinua silvestre de la que llaman cañahua". De igual manera, Cobo (1653), en su *Historia del Nuevo Mundo*, al referirse específicamente a la quinua describe: "De las otras quinuas de colores hacen chicha, señaladamente de la 'cenicienta', llamada kañahua". No se sabe exactamente si el autor se confunde con las quinuas del tipo Ccoito que tienen un color gris, o se refiere a esta otra quenopodiácea, que presenta varios colores pero no el ceniciento.

El español Diego Cabeza efectuó la mención más antigua de la presencia de la kañiwa en el continente americano, cuando en 1586 escribió su "Descripción y Relación de la ciudad de La Paz". Al señalar los recursos de la región, el autor menciona "las semillas con que los indios se han sustentado y sustentan son: maíz, papas, chuño, oca, quinua, kañagua". Chervin *et al*. (1908) fueron los primeros científicos en indicar que la kañihua era una especie diferente de la quinua, pero no fue hasta 1929 en que el botánico suizo Paul Aellen creó la denominación de *Chenopodium pallidicaule* para nombrar este cultivo, probablemente basado en un espécimen colectado de tallo de color amarillo.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 37 10-11-20 15:44

1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

Actualmente no existen evidencias arqueológicas relacionadas con la presencia y utilización de esta planta en la Antigüedad, de manera que no se puede saber desde qué tiempo se la cultiva. Sin embargo, el hecho actual de que las plantas a la madurez pierden parte del grano por caída natural (dehiscencia) hace pensar que su proceso de domesticación aún no ha culminado.

El cultivo y consumo de la kañiwa está muy relacionado con la cultura Tiahuanaco que habitó el altiplano de Perú y Bolivia. Es en esa área donde hay en la actualidad la mayor parte de superficie bajo esta especie. Se considera que se cultivan unas 6.000 ha en el Sur de Perú y unas 1.500 ha en Bolivia, en parcelas pequeñas, en la mayoría de no más de 2.000 m^2.

2. CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA

Desde el punto de vista de la clasificación taxonómica, la kañiwa es un pariente cercano de la quinua y de otras especies como el paico *(Chenopodium ambrosoides*) y relacionado a la espinaca (*Spinacea oleracea)*, así como a especies del género *Kochia* y *Atriplex.*

Según los caracteres botánicos, se han propuesto diversas clasificaciones. Mantari (1955) ha definido para la zona de Puno: plantas blancas (verdes); rosadas/rojas y amarillas. Vargas (1938) reconoce: "Puccoya" de tallos pigmentados de color rosado, hojas rosadas o verde claro, "Pacos" de tallos y hojas moradas, y "K´ello" de tallos y hojas amarillentos. A base de la coloración del grano, Cárdenas (1089) clasificó las kañihuas en tres grupos, según la coloración de los granos en: blanco sucio, negro o castaño.

De acuerdo con las diferencias botánicas como, color de la planta, y de la cobertura del grano (Hunziker, 1952) propuso las siguientes formas de *Chenopodium pallidicaule* Aellen:

A. Plantas verdes o verde-amarillentas, sin pigmento de antociana (cobertura o episperma castaño)
    a. forma **pallidicaule**
B. Plantas rosadas o ligeramente moradas
    1. Plantas rojas, rosadas o rosado-verdosas, grano con episperma castaño
    b. forma **purpureum** Aellen

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 38 10-11-20 15:44

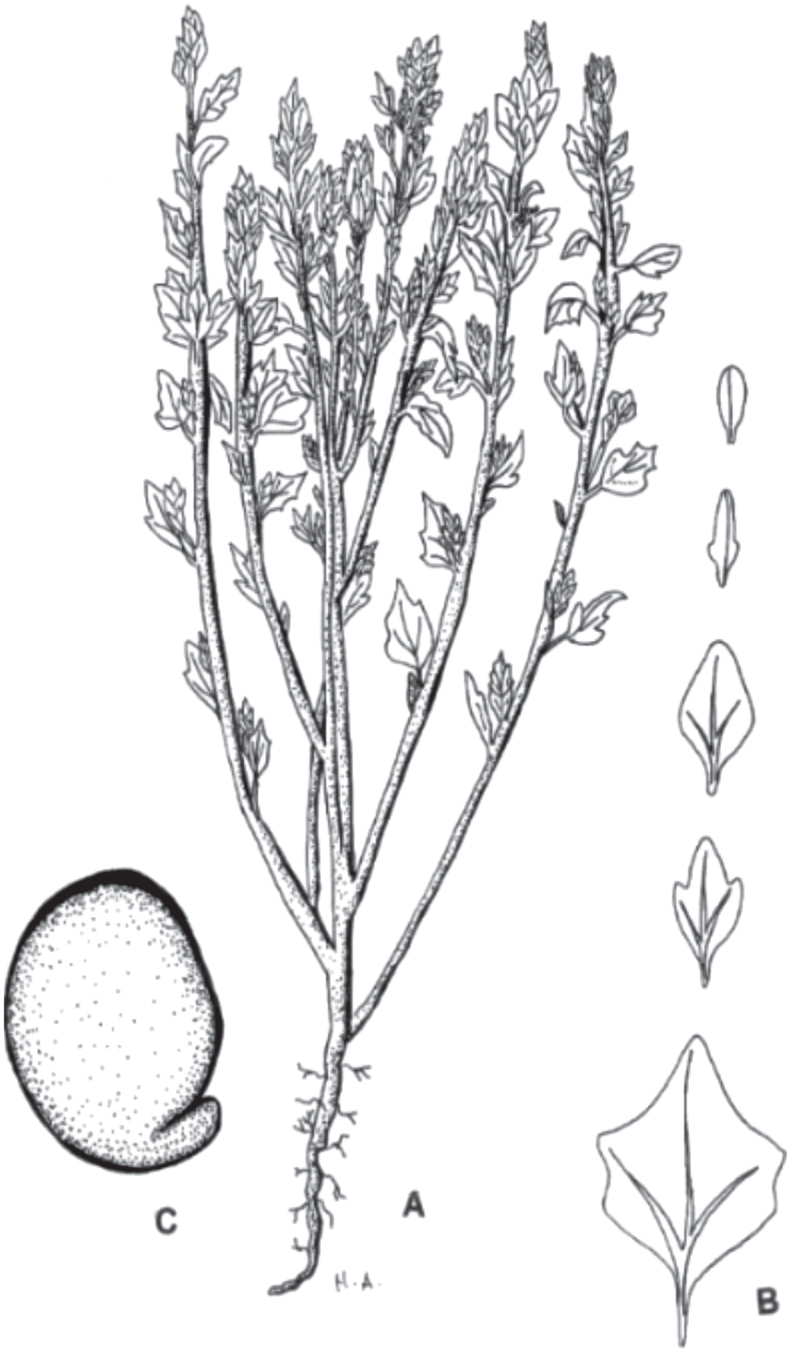

Figura 1. (A) Planta, (B) hojas y (C) grano de kañiwa (Fuente: León, 1963).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 39 10-11-20 15:44

2. Plantas intensamente moradas, granos con episperma casi negro
   c. forma **melanospermum** A. T. Hunziker

La kañiwa es una planta ramificada desde la base. Tanto los tallos en su parte superior como las hojas y las inflorescencias están cubiertas de vesículas blancas o rosadas (León, 1963).

Características morfológicas de la planta de las kañiwas

Porte de la planta, el tamaño de la parte aérea puede ser de 30 a 70 cm.

Raíz, pivotante, con una profundidad que varía de 20 a 70 cm.

Tallo, puede ser algo ramificado o muy ramificado, hueco, nudoso, estriado, con escasa pilosidad.

Hojas, con distribución alterna, de textura suave, con pecíolos largos, las hojas con lámina gruesa, las hojas florales son enteras y lanceoladas, semisésiles y las hojas basales son romboidales trilobadas y caducas. Las hojas en las especies silvestres son rómbicas con 23 a 12 dientes.

Las hojas alternas presentan pecíolos cortos y finos, láminas engrosadas de forma romboide, y miden de 1 a 3 cm de largo. En la parte superior se dividen en tres lóbulos, rara vez dentados. Las hojas presentan tres nervaduras bien marcadas en la cara inferior que se unen después de la inserción del pecíolo.

Flores, muy pequeñas, el perigonio tiene de 3 a 5 lóbulos, androceo con 1 a 3 estambres, gineceo con estilo corto de estigma bífido, ovario supero. Se pueden encontrar flores masculinas y flores hermafroditas.

Inflorescencias, se ubican en las axilas superiores de las ramas y están ocultas y protegidas por el follaje con glomérulos cortos, terminales axilares, comprimidos y de distribución más bien laxa.

Las inflorescencias son poco significantes, cimosas, axilares o terminales y totalmente cubiertas por el follaje. Tienen dos tipos de flores, hermafroditas o estaminadas muy pequeñas de 1 a 2 mm de diámetro, sésiles. El perigonio está compuesto de cinco partes (Hunziker, 1952). Los estambres son generalmente 1-3, con un estaminodio minúsculo. El gineceo está formado por el pistilo, superado por el periantio esférico y terminado en dos ramas estigmáticas apicales, generalmente soldadas en su base.

Fruto, es un aquenio de ovario blanquecino o coloreado.

El fruto o semilla está cubierto por el perigonio de color generalmente gris. El pericarpio es muy fino y traslúcido. La semilla es de forma

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 40 10-11-20 15:44

Figura 2. Detalle de la inflorescencia de la kañiwa con pequeños glomérulos y las flores protegidas por las hojas, que le permiten soportar bajas temperaturas (Foto: M. Tapia N.).

lenticular de 1 a 1,2 mm de diámetro y de color castaño o negro, con el episperma muy fino. Redondeada, lustrosa, de color castaño claro, castaño oscuro o negro.

Se han podido diferenciar cuatro factores principales de variación en los cultivares de kañiwa:

a) El tipo de crecimiento y formación de ramas de la planta que puede ser de porte erguido poco ramificado (“saigua”), o muy ramificado desde la base (“lasta”).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 41 10-11-20 15:44

Figura 3. Tipos de kañiwa según grado de ramificación (Fuente: Lescano, 1994).

b) La coloración del tallo y follaje: amarillo, anaranjado, rosado, rojo o púrpura. La variación de colores en la planta sigue un patrón muy semejante al de la quinua.

Figura 4. Coloraciones de las plantas de kañiwa (Foto: M. Tapia N.).

c) El color de las vesículas puede ser blanco o rosado.
d) Color del grano, castaño, castaño oscuro o negro.

En el trabajo de Paredes (1958) realizado en la Universidad del Cusco, con material colectado en Puno, se considera tanto el tipo de crecimiento de la planta como el color del grano y del follaje.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 42 10-11-20 15:44

Así, se pueden reconocer cuatro grupos principales:

SAIGUA KAÑIWA	Crecimiento erecto, grano castaño
SAIGUA CCOITO	Crecimiento erecto, grano negro
LASTA KAÑIWA	Crecimiento ramificado, grano castaño
LASTA CCOITO	Crecimiento ramificado, grano negro

El número cromosómico de la kañiwa ha sido estudiado por Gandarillas y Gutiérrez (1968) y Lescano (1994) quienes determinaron que la especie tiene 18 cromosomas en células somáticas (2X = 18) y su número básico es X = 9. Estas determinaciones se efectuaron en puntas de raicillas por el método rápido del aplastado. De esta manera, la kañiwa como especie diploide, viene a ser distinta de la quinua y el "huauzontle" que son tetraploides muy relacionados. Con aplicaciones de 3% de colchicina en los cotiledones se obtuvieron plantas autotetraploides con 4 X = 2n = 36 cromosomas (Gandarillas y Gutiérrez, 1968).

En cuanto a la herencia de algunos caracteres, pocos han sido los trabajos efectuados. Simmonds (1966) estudió la coloración rojo y verde de la planta, así como el color negro y castaño de la semilla y encontró que la planta roja y el grano negro eran dominantes, controlados por un sistema genético simple.

3. CULTIVO, VARIEDADES Y ESPECIES SILVESTRES

La kañiwa se cultiva generalmente en terrenos planos o de ligera pendiente sobre los 3.800 msnm. La siembra ocurre a partir de octubre en el altiplano de Perú y Bolivia, según la presencia de las lluvias, aunque por el atraso de las lluvias en los últimos años, la siembra se ha extendido incluso hasta principios de enero. Se considera que la época apropiada de siembra debería ocurrir cuando se acumulan al menos 100-120 mm de precipitación.

La siembra se efectúa en campos generalmente después del cultivo de papa amarga o forrajes, avena, cebada o en terrenos de "rompe" de pastizales recién volteados, en los que hay que efectuar una limpieza profunda de las matas de pastos que afectan el porcentaje de germinación. La distribución de la semilla tradicionalmente se hace al voleo, sin embargo, la siembra en surcos (distanciados 0,40 m) ha demostrado ser más apropiada permitiendo un mejor manejo del cultivo, facilita el deshierbo y la

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 43 10-11-20 15:44

aplicación de abonos, menor uso de semilla (6 a 8 kg/ha) y reducción del uso de mano de obra en la cosecha (Velasco, 1970; Apaza, 2010).

Catacora (2010) y Lescano (1994) han definido las fases fenológicas que presenta el cultivo de kañiwa desde su germinación hasta su cosecha en un periodo que varía de 130 a 160 días para las condiciones del altiplano de Puno.

Cuadro 1. Fases fenológicas de la kañiwa (Lescano, 1994).

Fases/días	Características
Emergencia a los 5 a 8 días de siembra.	Aparición de los cotiledones. Esta fase es muy susceptible al ataque de los pájaros.
Dos hojas verdaderas a los 25-30 días.	Son las primeras hojas en realizar la fotosíntesis, y alcanzan una longitud de 5 mm.
Ramificación. A los 30 45 días.	Se inicia el desarrollo de las ramas secundarias con una longitud de 5 cm medidos desde la axila basal de la hoja.
Inicio de la inflorescencia. A los 46 a 58 días.	Aparición de las primeras inflorescencias en la rama principal de la planta.
Floración. A los 80 días	Se registra 50% de apertura de las flores. La duración de la floración por inflorescencia es de 9 a 14 días, siendo la apertura de la flor de 3 a 7 días.
Grano lechoso. A los 95 días.	Se comprueba al presionar el grano entre las uñas, el grano deja escapar un líquido lechoso. Es la época cuando el cultivo es más susceptible a las heladas.
Grano pastoso. A los 105 días.	Cuando al presionar el grano entre las uñas muestra una consistencia pastosa de color blanquecino.
Madurez fisiológica. A los 130 a 160 días	Se muestra cuando los granos empiezan a caerse de la planta en forma natural, dehiscencia.

Las prácticas y labores agronómicas implementadas en el cultivo no son uniformes y varían según los niveles tecnológicos que se practican en los actuales sistemas de producción en el altiplano de Puno y provincias altas del Cusco, diferenciándose en:

a. *Tecnología tradicional campesina*, generalmente se observa en pequeñas parcelas de 400 a 1.000 m^2 utilizando semilla propia (6 a 8 kg/ha), la siembra es al voleo, con escasa preparación del suelo generalmente manual y rotando de un campo con cultivo de papa amarga o avena en

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 44 10-11-20 15:44

Figura 5. Plantas tiernas de kañiwa a los 30 días de crecimiento. Las hojas y tallos son de color verde intenso (Foto: M. Tapia N.).

el año anterior. Generalmente no se utilizan fertilizantes químicos y sí aplicaciones de estiércol. La cosecha se efectúa con segadoras. La trilla es a mano con el uso de "huactanas" (palos forrados con cuero de llama) y la mano de obra es eminentemente familiar.

b. *Tecnología de producción media*, se implementa en campos de más de 4.000 m^2 con semillas seleccionadas localmente, en los que se prepara y mulle bien el suelo, uso de fertilizante químico 60-40-0, aunque con bajos niveles, se complementa con estiércol como abono de base, además de deshierbar el campo y la trilla con máquinas trilladoras a motor.

c. *Tecnología alta*, con semilla seleccionada, siembra en surcos, fertilización apropiada con niveles de 80-60-40 y abono orgánico con 4 a 5 Tm de estiércol descompuesto. La cosecha y trilla se efectúa en forma mecanizada.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 45 10-11-20 15:44

Figura 6. Campo de cultivo tradicional, kañiwa asociada con quinua, Ayaviri, Puno (Foto: M. Tapia N.).

Figura 7. Producción de kañiwa, con tecnología media (Foto: M. Tapia N.).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 46 10-11-20 15:44

Figura 8. Parcela comercial de kañiwa, Ayaviri, 3.915 msnm, Altiplano de Puno (Foto: M. Tapia N.).

Figura 9. Trilla mecanizada de kañiwa, Balsaspata, Ayaviri, 3.900 msnm (Foto: M. Tapia N.).

4. CULTIVARES Y VARIEDADES

Según Paredes (1966), en los años 60 se podía encontrar en Puno, y diferenciar, los siguientes cultivares, según la denominación local:

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 47 10-11-20 15:44

Cuadro 2. Cultivares de kañiwas en Puno (Fuente: Paredes, 1958).

Lastas de grano castaño claro a marrón (kañiwa)

Nombre local	Color del tallo	Color del grano	Ciclo vegetativo/días
Akcallapi	Rojo	Castaño claro	200
Chilliwa	Amarillo claro	Castaño claro	180
Konacota	Amarillo verdoso	Castaño claro	180
Lmabrana	Anaranjado	Castaño claro	140
Pantila	Rojo granate	Castaño claro	180
Kello	Amarillo	Castaño	180
Kello huitil	Rojo vinoso	Castaño	190
Condor saya	Granate	Castaño	130
Chusilla	Tercio superior rojo, basal anaranjado	Castaño	120
Pacco chilliwa	Tercio superior amarillo, basal rojo	Marrón	180

Saihuas de grano castaño claro a marrón (kañiwa)

Nombre local	Color del tallo	Color del grano	Ciclo vegetativo/días
Akcallapi	Rojo	Castaño claro	140
Chiliwa	Amarillo claro	Castaño claro	160
Konacota	Amarillo verdoso	Castaño claro	130
Pantila	Rojo granate	Castaño claro	140
Kello	Amarillo ocre	Castaño	130
Kello huitil	Rojo vinoso	Castaño	150
Chusilla	Anaranjado	Castaño	130
Paco chiliwa	Amarillo claro	Castaño	130
Huanacuri	Rojo tercio superior, rojo verdoso basal	Castaño	130

Lastas de grano negro (Ccoito)

Nombre local	Color del tallo	Color del grano	Ciclo vegetativo/días
Kcancolli	Rosado	Negro	130
Konacota	Anaranjado	Negro violáceo	130

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 48 10-11-20 15:44

Nombre local	Color del tallo	Color del grano	Ciclo vegetativo/días
Puca	Granate	Negro violáceo	140
Huanacuri	Tercio superior rosado, basal rojo	Negro	130

Saihuas, grano negro (Ccoito)

Nombre local	Color del tallo	Color del grano	Ciclo vegetativo/días
Chilliwa	Amarillo, basal rojo	Negro	130
Puca	Granate	Negro violáceo	130

Kañiwas Silvestres

Nombre local	Color del tallo	Color del grano	Ciclo vegetativo/días
Machu kañiwa o Llallacoma	Rojo oscuro basal Rojo verdoso, tercio superior	Negro	210

Figura 10. Cultivares de kañiwa conservadas por agricultores en la provincia de Lampa, Puno (Foto: M. Tapia N.)

Variedades comerciales

La Universidad de Puno, en la Estación Experimental Camacani, así como el INIA de Perú en su Estación Experimental de Illpa, han seleccionado diferentes variedades a base del material genético del banco de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 49 10-11-20 15:44

germoplasma que se encuentra depositado en las respectivas estaciones experimentales.

Las variedades o selecciones que más se han difundido en Puno son: Cupi, plantas de color amarillo (de la zona de Melgar) y Ramis, plantas de color rojo (de la zona de Huancane). La última variedad seleccionada, en la Estación Experimental de Illpa, es la INIA 406 Illpa.

En Bolivia, según Rojas *et al*. (2018), uno de los factores limitantes para la producción de kañiwa es la falta de semilla y variedades de buena calidad. Por ello, PROINPA realizó trabajos de identificación y selección de materiales promisorios de la colección de germoplasma de kaniwa de Bolivia, con participación de agricultores como parte del proceso de obtención de variedades durante 4 años agrícolas (2002-2006) y en distintas comunidades del altiplano y valles interandinos del país.

Como resultado de ese trabajo fueron obtenidas la variedad Illimani y la variedad Kullaca, las mismas fueron registradas ante el Programa Nacional de Semillas (ahora INIAF), constituyéndose en las primeras variedades oficialmente registradas en Bolivia. Esta experiencia ha contribuido a desarrollar y contar con el procedimiento para el registro y certificación de semilla de kañiwa.

En el 2005 se publicó la primera lista de "Descriptores para kañiwa" mediante un trabajo conjunto entre instituciones de Bolivia y Perú, coordinado por el IPGRI (actual Bioversity International). La lista de descriptores se basa en el trabajo de un equipo de expertos de Bolivia (PROINPA, UTO, UMSA, IBNORCA, UACT-UCB y Procesadora Cereales Andina) y Perú (CIRNMA, INIA Puno, CII-UNA, CARE-GSAAC/IICA) pertenecientes a instituciones socias del proyecto IPGRI-IFAD "Elevar la contribución que hacen las especies olvidadas y subutilizadas a la seguridad alimentaria y a los ingresos de la población rural de escasos recursos", el trabajo ha sido validado por bancos de germoplasmas de ambos países (IPGRI, PROINPA e IFAD, 2005).

Los rendimientos de grano con las variedades seleccionadas, actualmente en la práctica, son bajos (de 500 a 700 kg/ha) en la mayoría de las parcelas, sin embargo, en campos tecnificados con mayores niveles de fertilización se ha elevado dicha producción hasta 3.000 kg/ha (Cahuana, 1975). En Puno, se evaluaron 5 formas botánicas de kañiwa con una fertilización NPK 80-60-60 ha, obteniendo rendimientos potenciales que superaban las 3 Tm/ha. Quispe (1983) evaluó 25 líneas de alto rendimiento del banco de germoplasma de la UNA y encontró un rango de rendimiento en las parcelas experimentales entre 3.950 kg/ha y hasta 4.783 kg/ha con las 10 líneas más rendidoras, relacionando los altos rendimientos a una

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 50 10-11-20 15:44

correlación directa entre la altura y peso de la biomasa de la planta con el rendimiento de grano.

Se considera que en la cosecha normalmente 10 a 15% del grano se pierde, por razón de una maduración no uniforme del grano y la propia característica de dehiscencia del cultivo, que puede alcanzar niveles de hasta más del 20% de pérdida si no se efectúa la cosecha en forma escalonada, en al menos dos a tres ocasiones según el proceso de maduración.

En algunas ocasiones los agricultores cosechan la kañiwa en estado inmaduro, esperando que se termine la maduración en las plantas cortadas y amontonadas en los "arcos".

Es necesario considerar además el valor de la broza como forraje para el ganado, así como el uso de las raíces que una vez cocinadas dan un álcali "llipta", utilizado en la masticación "chacchar" de las hojas de la coca.

5. VALOR NUTRITIVO Y USOS

Una pregunta frecuente es: ¿cuál de los granos andinos es más nutritivo: la quinua, kañiwa o la kiwicha?, la respuesta, sin embargo, es que la diferenciación en el contenido nutricional, entre quinua, kañiwa, kiwicha es mayor, entre los cultivares o variedades de la misma especie, que entre las especies. La diferencia nutricional respecto del tarwi (*Lupinus mutabilis*) sí es mayor, en esta leguminosa, especialmente en el contenido de proteínas, aunque de menor calidad, pero con un mayor contenido de aceites.

Cuadro 3. Valor nutritivo de la kañiwa comparado con la quinua y alimentos básicos (Fuente: Collazos, 1996).

Componente	Quinua	Kañiwa	Trigo	Arroz	Huevo
Proteína	11,2-18,0	12,7-19,0	8,6	9,9	14,0
Grasas	4,0-9,7	4,1-7,8	1,5	1,56	3,2
Hierro	5,20	6,2	2,3	0,60	3,2
Calorías 100 g	300	325	240	280	350

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 51 10-11-20 15:44

6. INDUSTRIALIZACIÓN

Las primeras pruebas e investigaciones respecto de la industrialización de la kañiwa se informa en Cusco, que detalla el proceso tradicional de tostar y moler la kañiwa transformándola en un producto consumido tradicionalmente, denominado "kañihuaco", o "pito" de cañahua (en aymara) que es la harina de kañiwa tostada y molida para su consumo directo.

Con el kañihuaco o semilla popeada y molida de kañiwa se pueden preparar galletas de diferentes sabores, como el chocolate, con el que se ha obtenido una buena aceptación en los mercados de Cusco, Arequipa y Puno, en los que se tiene la tradición de su consumo.

Desde el 2004 se ha experimentado en la planta de procesamiento de la kañiwa localizada en Ayaviri, Puno, a 3.900 msnm, su transformación para la elaboración y evaluación de tres productos principales: harina tostada denominada kañihuaco, galletas y queques.

Los granos de kañiwa transformados constituyen actualmente un importante alimento para las poblaciones campesinas de las partes más altas de los Andes, ofreciendo una proteína vegetal de calidad y que adecuadamente procesada debería integrarse en los programas sociales de alimentación infantil, no solo en Perú, sino en el mundo, sobre todo en regiones de montañas como Etiopía, Kenia y los Himalayas.

Figura 11. Planta procesadora de kañiwa en Ayaviri, Puno (Foto: M. Tapia N.).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 52 10-11-20 15:44

Figura 12. Diferentes presentaciones del kañihuaco (Foto: M. Tapia N.).

Figura 13. Diferentes tipos de galletas de kañiwa (Foto: M. Tapia N.).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 53 10-11-20 15:45

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apaza, Vidal, 2010. Manejo y mejoramiento de kañiwa. INIA, Puno, Perú.

Cahuana, F. 1975. Comparativo de rendimiento de cinco formas botánicas de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) por tres distanciamientos entre surcos. Tesis, UNA, Puno, Perú.

Canahua, A.; Valdivia, F.; Mujica, S.; Hallasi, A. 2003. Beneficios nutritivos y formas de consumo de la quinua y de la kañihua. IPGRI. CARE, UNA. CIRNMA. Puno, Perú.

Cárdenas, M. 1089. Manual de Plantas Económicas de Bolivia. 2da Edición. Editorial Los Amigos del Libro, La Paz, Bolivia.

Catacora, P. 1989. Comunicación Personal.

Cobo, B. 1653. Historia del Nuevo Mundo, Madrid, Biblioteca de autores españoles.1956.

Collazos, C. 1996. Valor nutritivo de los alimentos en el Perú. Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.

Chervin, A.; Créqui-Montfort, G.; Sénechal de la Grange, E. 1908. Antropologie bolivienne. Ethnologie, Démographie, Photographie Métrique. Nabu Press. 510 p.

Gandarillas, H.; Gutiérrez, J. 1968. Número de cromosomas en Cañihua. En 1ra Convención Internacional de Quenopodiáceas. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Hunziker, A. 1952. Los Pseudo Cereales de la Agricultura Indígena de América. ACME Agency, Buenos Aires, Argentina.

León, J.1963. Plantas Alimenticias Andinas. IICA. Boletín Técnico # 6 Lima, Perú.

Lescano, J.L. 1994. Genética y Mejoramiento de Cultivos Alto Andinos. INADE, PELT. COTESU. Puno, Perú.

Mantari, C. 1955. El mejoramiento del cultivo de la cañihua en el Departamento de Puno. Dirección General de Agricultura, Boletín # 17 y 18.

Paredes, A. 1966. Estudio Agro botánico de la Cañihua. Tesis Facultad de Agronomía. Universidad San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Quispe, B. 1983. Comparativo de 25 líneas de alto rendimiento del Banco de Germoplasma de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen).

Rojas, W.; Flores, J.; Mamani, E. 2018. Manejo del Cultivo de Cañahua. La Paz. Latincrop-PROINPA, 28 p.

Simmonds, N.W. 1966. Plant and seed colours in cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), *Heredity* 21 (2): 316-317.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 54 10-11-20 15:45

Vargas, C. 1938. Nota etnobotánica sobre la cañihua. Rev. Agricultura de Argentina 5 (4) 224.230. Buenos Aires, Argentina.

Velasco, L. 1970. Ecotipos de cañihua y sus investigaciones, Tesis, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 55 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 56 10-11-20 15:45

LA QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA* WILLD), SU REVALORIZACIÓN E INVESTIGACIÓN EN PERÚ

Luz Gómez P.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 57 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 58 10-11-20 15:45

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie originaria de la región andina. Valorada por su alta calidad nutritiva, su tolerancia a sales y sequía, cualidades que han determinado su reconocimiento a nivel mundial como una especie alternativa para mitigar los daños causados por el cambio climático y actividades agrícolas que causan el deterioro de la calidad de los suelos y la reducción de la producción de alimentos.

La quinua es importante en la región andina de Perú porque puede ser sembrada en diferentes sistemas agrícolas, desde el nivel del mar hasta los 4.000 msnm, en parcelas generalmente ubicadas en laderas con suelos degradados y con climas adversos, caracterizados por frecuentes sequías y heladas, con rendimientos bajos pero estables; contribuyendo a la producción de alimentos altamente nutritivos y a la generación de ingresos económicos para los agricultores de pequeña escala que tienen pocas opciones de cultivo. Su revaloración en las últimas décadas promovió la expansión de la superficie cultivada en zonas tradicionales y nuevas, su incorporación en la dieta alimenticia de la población urbana y el desarrollo de la industria relacionada con sus usos tradicionales y nuevos. Sin embargo, su cultivo en grandes extensiones y nuevas zonas muestra en su real magnitud varios factores que limitan su desarrollo y su mayor impacto en la agricultura, en la industria y en la comercialización. Muchos de estos factores limitantes están siendo estudiados y parcialmente solucionados mediante diversas investigaciones orientadas al mejor conocimiento del cultivo y a su desarrollo sostenible.

1. IMPORTANCIA DE LA QUINUA

1.1. *Valor nutritivo*

La quinua es un alimento que contribuye a la dieta alimenticia con compuestos de alta calidad como proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales. Su contenido de proteína varía de 7 a 22% y es valorado

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 59 10-11-20 15:45

por la calidad conferida por el balance y la presencia de todos los aminoácidos esenciales (Gómez-Pando y Eguiluz, 2011; González *et al*., 2012; Mattila *et al*., 2018; Repo-Carrasco-Valencia *et al*., 2019). Los carbohidratos de la quinua tienen entre 58 y 68% de almidón y un índice glicémico considerado bajo (Arzapalo *et al*., 2015; Gordillo-Bastidas, 2016). Su grasa varía de 5,8 a 7,5% y destaca por la riqueza de sus ácidos grasos poliinsaturados (ácido oleico, linoleico y α-linolénico) y la proporción entre el omega-6 y el omega-3 (Lutz y Bascuñán-Godoy 2017; Agrawal, 2018). Tiene una buena cantidad de minerales y se señala que en general la cantidad es mayor a la de los cereales (Kosiol, 1992; Miranda *et al*., 2010). Las vitaminas que se reportan en la quinua son la tiamina, riboflavina, ácido fólico, vitamina C, α-tocoferol y vitamina A (Rúales y Nair, 1993) y adicionalmente se señala su buen contenido de vitamina E y en el estudio de 12 variedades de quinua peruanas se reporta un rango de 4,1 a 14,9 microg/kg (IICA, 2015). Se da valor también a sus fibras dietéticas mayormente insolubles y su presencia se asocia a la saciedad, pudiendo jugar un rol importante en el control del apetito (Berti *et al*., 2005; Lamothe *et al.,* 2015; IICA, 2015).

1.2. *Valor agronómico*

La quinua evoluciona durante miles de años en condiciones de climas y suelos adversos para la agricultura, este proceso determina una combinación valiosa de genes que le confieren tolerancia a bajas temperaturas, a las sales y a la sequía. Estas propiedades la hacen una alternativa valiosa para la agricultura en zonas marginales y para reducir los daños causados por el cambio climático.

Su tolerancia a factores abióticos como frío, sales y sequía y su amplia capacidad de adaptación han permitido su introducción a zonas áridas y semiáridas del mundo identificándose muchos de los mecanismos morfológicos y fisiológicos que les confieren tolerancias a diversos factores abióticos (Mujica *et al*., 2001; Bois *et al*., 2006; Jacobsen *et al*., 2009; Pulvento *et al*., 2012; Zaman *et al*., 2018; Rao *et al*., 2019).

1.3. *El valor de su diversidad genética*

Muchos factores contribuyen al desarrollo de la diversidad genética de la quinua: su domesticación y cultivo en un amplio territorio a lo largo de cordillera de los Andes que confiere características propias a la región Andina expresada en la gran diversidad de flora, fauna, climas y suelos.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 60 10-11-20 15:45

La diversidad genética, generada por las cruzas interespecíficas entre dos especies diploides y la duplicación de cromosomas; que dan origen a la quinua, un alotetraploide con un número básico x= 9 cromosomas (Gandarillas, 1986; Maughan *et al*., 2006). La selección realizada por agricultores de las diversas civilizaciones preincas e inca que desarrollaron agricultura en la región andina durante miles de años domesticando, creando sistemas y técnicas agrícolas para producir alimentos y materias primas en una diversidad de ambientes y para diferentes usos. Los factores señalados, acompañado de mutaciones, deriva genética, introgresión y la selección formaron el germoplasma diverso que se reconoce en cinco grupos agroecológicos con características propias:

1.3.1. **Quinuas del nivel del mar**: se las encuentra en la zona de Linares y Concepción (Chile) a 36° latitud sur. Se describen como plantas más o menos vigorosas, de 1,0 a 1,4 m de altura, ramificadas y generalmente con semillas transparentes de color crema (tipo chullpi). Se señala que estas quinuas tienen similaridad morfológica a la especie *Chenopodium nuttalliae* (Huazontle) cultivada en México.

1.3.2. **Quinuas de los valles**: son aquellas quinuas que han evolucionado en los valles interandinos comprendidos entre los 2.500 y 3.500 msnm entre Cusco-Perú y Pasto-Colombia. Estas quinuas generalmente tienen plantas altas que pueden sobrepasar los 2,4 m de altura y ramificadas con inflorescencias o panojas intermedias. Algunas variedades de quinua de los valles tienen resistencia, mayormente cuantitativa, al mildiú (*Perenospora variabilis*); la enfermedad más importante de la quinua y con granos semidulces.

1.3.3. **Quinuas del altiplano**: estas quinuas han evolucionado en las amplias planicies del altiplano peruano boliviano, circundante al lago Titicaca, en zonas comprendidas mayormente entre los 3.600 y 4.000 msnm. Es en esta área donde se encuentra la mayor diversidad de características morfológicas, agronómicas, fisiológicas, nutritivas y de usos. Se encuentran plantas con diversos grados de ramificación y muchas panojas y plantas sin ramificación o de tallo simple con una panoja terminal compacta, con altura de planta en un rango de 0,5 a 1,5 m, precoces-tardías y una gran susceptibilidad a la enfermedad del mildiú. A este grupo pertenecen la mayor parte de las variedades tradicionales y variedades comerciales peruanas.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 61 10-11-20 15:45

1.3.4. **Quinuas de los salares**: grupo que evolucionó en las altas planicies del sur de Bolivia y el Norte de Chile conocida como salares. Son zonas desérticas con 200-300 mm de precipitación. Estas quinuas tienen una morfología similar a las quinuas del altiplano. Se caracterizan principalmente por el tamaño grande de sus granos mayores a 2,2 mm de diámetro y algunas de sus variedades se conocen como "Quinua Real". Predominan las quinuas con granos de grueso pericarpio y alto contenido de saponina.

1.3.5. **Quinuas de las yungas**: un grupo de quinuas adaptadas a las condiciones de las yungas de Bolivia o zonas bajas de los Andes que van descendiendo a la región amazónica, desde altitudes de 1.500 a 2.000 msnm. Se describen como plantas con tendencia a la ramificación, con altura de planta alrededor de los 2,20 m, de color verde intenso en la etapa de crecimiento vegetativo y color naranja intenso en la fase de floración y con granos de color naranja.

Estos grupos han sido descritos por investigadores como Tapia *et al.* (1980); Lescano (1994); Gómez y Aguilar (2016); Murphy *et al*. (2019). El empleo de marcadores moleculares y la resecuenciación de todo el genoma muestran la existencia de dos grandes grupos de quinua, el de las zonas altas y el de las quinuas de las zonas bajas de los Andes o de la costa (Christensen *et al*., 2007; Fuentes *et al*., 2009, Zhang *et al*., 2017).

Esta diversidad genética y los parientes relacionados como *C. album, C. berlandieri, C. hircinum, C. petiolare, C. murale* y *Chenopodium* sp., han sido recolectados y son conservados en países de la región andina y otros del mundo, calculándose 16.422 accesiones conservadas en 59 bancos de germoplasma y los bancos con mayor diversidad se encuentran en Bolivia y Perú (Rojas *et al*., 2014).

1.4. *Valor económico*

La quinua es un nuevo producto de exportación muy importante para los agricultores de pequeña escala de la región andina, considerando que es uno de los pocos productos con un mercado creciente en el exterior. Según Díaz *et al*. (2019), el volumen de las exportaciones a nivel mundial se incrementó de 43,7 miles de toneladas a 93,8 miles de toneladas, equivalente al 115% en el periodo 2012 al 2016. Perú se consolida como líder el 2016 exportando 44,3 miles de toneladas.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 62 10-11-20 15:45

Según FAOSTAT (2020), para el 2018 la exportación de quinua de Bolivia fue de 33.141 t por un valor de US$ 80.749.000; de Chile 23 t por un valor de US$ 457.000 y de Perú 51.714 t por un valor de US$ 125.502.000. En el 2019 las exportaciones de quinua peruana fueron de 48.105 t con un valor de US$ 132.598.767 (https://www.agrodataperu.com/category/exportaciones/quinua-exportacion). Los precios varían dependiendo del tipo de quinua y de la región producida. Siendo los mayores precios para la quinua orgánica y de colores.

Los agricultores de Perú tienen un costo de producción de US$ 2.200 por tonelada y un precio de venta entre US$ 4.000 a 4.500 la tonelada. La quinua se produce principalmente en las regiones de Puno, Ayacucho, Cuzco, Apurímac y Arequipa (https://www.pqs.pe/economia/para-el-2020-se-produciran-mas-de-200-mil-toneladas-de-quinua-al-ano).

2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Los sistemas de cultivo de quinua son diversos y propios de cada zona de producción y se extiende desde el nivel del mar hasta los 4.000 msnm. En Puno, el departamento con más de 50% del área cultivada, la quinua se siembra en los sistemas tradicionales conocidos como *Aynokas* y *Waru-Waru*, empleando tecnologías convencionales, mixtas y orgánicas. Estos sistemas brindan a los agricultores de pequeña escala del altiplano mayor seguridad de cosecha, conservación de los recursos genéticos y reducción de los daños causados por sequías, heladas o inundaciones que caracterizan el clima de las campañas agrícolas del altiplano.

Las *Aynokas* de la región de Puno, circundante al lago Titicaca, son sistemas agrícolas que preservan la diversidad genética de especies nativas como la quinua y la de sus parientes silvestres y el conocimiento del manejo del cultivo (Mujica y Jacobsen, 2006). Se caracterizan por el manejo orgánico de grandes extensiones de tierra, propiedad colectiva de comunidades nativas, en un sistema de rotación anual con diferentes especies básicas para la alimentación, en cientos de pequeñas parcelas, con una diversidad de variedades de la especie seleccionada para la campaña agrícola. El primer año se inicia con la siembra de papas (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena* o *Solanum juzepczukii* o *S. curtilobum*), el siguiente año con la quinua y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), el siguiente año con la siembra de cebada (*Hordeum vulgare*) o avena (*Avena sativa*) y el siguiente el descanso o barbecho que puede tomar de 7 a 10 años. Por la enorme variabilidad ecológica y las diferencias en altitud dentro de las parcelas

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 63 10-11-20 15:45

de la aynoka, los rendimientos de las parcelas varían según su ubicación y según el nivel de precipitación en el año.

Por la enorme variabilidad ecológica y la diferencias en altitud dentro de las parcelas de la aynoka, los rendimientos de las parcelas varían según su ubicación y según el nivel de precipitación en el año.

Los *waru-waru* o agroecosistema de camellones (*suka collos*) se emplean en zonas bajas del altiplano con problemas de inundaciones y mal drenaje. El sistema se basa en la construcción de canales donde se mantiene el agua en la parte baja y en las zonas altas se cultivan diversas especies andinas y entre ellas la quinua. Varían entre 2-10 m de ancho, 10 a 20 m de largo y 0,4 a 0,80 m de alto. Los canales, durante la época de lluvia, tienen agua y crean un microclima que actúa como amortiguador contra las heladas nocturnas y proporcionan humedad a los cultivos de la parte alta en periodos de sequía, un buen sistema de drenaje y reducen la presencia de ciertos tipos de plagas. La rotación en este sistema se inicia con papa, quinua, cebada, habas (*Vicia faba*), tarwi (*Lupinus mutábilis*) y hortalizas (Canahua y Ho, 2003)

El resto de superficie cultivada en Perú se ubica en los valles interandinos que se extienden desde Cuzco a Cajamarca, la quinua se siembra en rotación y asociación con diversos cultivos como el maíz, las habas, la papa y el tarhui, de acuerdo con la altitud. La mayor extensión está ubicada entre los 2.500 y 4.000 msnm. En la última década se introdujo su cultivo a las yungas marítimas y a la costa predominantemente en un sistema convencional (Gómez *et al*., 2014).

Actualmente la quinua se siembra en cuatro sistemas de producción: a) los tradicionales, en áreas cada vez más reducidas con baja productividad, y mayormente para el autoconsumo y con un margen pequeño de venta; b) los convencionales, con alta dependencia de insumos externos, servicios de mano de obra y maquinaria y mayormente destinada a la venta; c) los sistemas mixtos o alternativos que promueven el manejo autosostenido, con prácticas de producción que incluye el uso racional de agroquímicos, manejo integrado de plagas y que intenta proporcionar un medio ambiente balanceado y destinado casi en su totalidad a la venta; d) los orgánicos, que promueven el empleo de insumos orgánicos con una producción destinada mayormente a la exportación (Pinedo *et al*., 2017) (Figura 1).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 64 10-11-20 15:45

Figura 1. Campos comerciales de quinua en el altiplano de Puno (Aynoka) y en Huancavelica (valle Interandino) (Fotos: L. Gómez).

3. CULTIVO DE LA QUINUA

3.1. *Variedades*

En Perú se siembran preferentemente 20 variedades de quinua: Variedades del Ecotipo Altiplano: Blanca de Juli, Kankolla, Cheweca, Rosada Taraco, Salcedo INIA, Illpa INIA, INIA 415-Pasankalla, INIA 420-Negra Collana, e INIA 431-Altiplano. Variedades del ecotipo de Valle: Blanca de Junín, Amarilla Maranganí, INIA 427-Amarilla Sacaca, Hulhuas, Rosada de Junín, Huacariz, Ayacuchana INIA, Quillahuman INIA, Mantaro, Rosada de Yanamango, y Blanca de Hualhuas. Mayormente tienen granos blancos, con excepción de Negra Collana con granos negros y Pasankalla con granos rojos (Apaza *et al*., 2013 y Gómez-Pando y Aguilar, 2016).

3.2. *Semillas y densidad de siembra*

Existen diversos tipos de semillas como las básicas o de fundación y las certificadas. El agricultor de pequeña escala, generalmente, emplea su propia semilla. La cantidad de semillas por hectárea varía de acuerdo con los sistemas de cultivo, las condiciones de clima y suelo. En los sistemas tradicionales con factores limitantes de suelo y una mínima preparación del suelo se emplea entre 15 a 20 kg/ha, en los sistemas convencionales, mixtos y orgánicos se usa entre 10-12 kg/ha.

Ocasionalmente, en los valles interandinos y la costa se usa el trasplante que emplea 1 kg/ha de semillas. La siembra con sembradoras de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 65 10-11-20 15:45

hortalizas usa entre 5 a 4 kg/ha y las sembradoras abonadoras de cereales usan entre 10 a 12 kg/ha (Aguilar y Jacobsen, 2003; Gómez y Aguilar, 2016).

3.3. *Elección del campo y preparación del suelo*

Dependiendo de la altitud en la que se encuentran los campos, las rotaciones más frecuentes son con papa-raíces y tuberosas andinas, leguminosas (tarhui, habas y arvejas) o cereales (maíz, trigo, cebada y avena). La quinua prospera en una variedad de suelos con diferentes valores de pH desde los ácidos en el norte de Perú hasta los alcalinos en los campos colindantes del lago Titicaca. Se recomienda evitar suelos con mal drenaje ya que el exceso de agua afecta el desarrollo de las plantas y propicia la podredumbre radicular durante todo el ciclo del cultivo.

Los suelos de parcelas pequeñas se preparan tradicionalmente a mano empleando herramientas para este fin como el arado de pie o *chaquitaclla, llaukana* o la *tanccana.* La expansión de la superficie y la economía del agricultor, determina la preparación de los suelos con tracción animal y mecánica (Aguilar y Jacobsen, 2003; Gómez y Aguilar, 2016).

3.4. *Fertilización*

En la producción orgánica se usa generalmente: guano de isla (1-2 t/ha), estiércol fermentado de diverso origen (5-10 t /ha), gallinaza (2,5 t/ha) compost (10 t /ha) y humus de lombriz (2 t). Estos abonos deben ser aplicados antes de la siembra e incorporados en el suelo, dependiendo de la altitud, unos meses antes de la siembra. Su disponibilidad para el cultivo, generalmente, no es inmediata, especialmente en zonas altas. Se complementan con la aplicación de *biol* preparado con los recursos disponibles en la unidad agrícola.

En la producción convencional se usa mayormente fertilizantes químicos, reportándose la aplicación de 50 a 300 kg/ha de nitrógeno, 30-120 kg /ha de P_2O_5 y 30-300 kg/ha de K_2O con rendimientos en zona de costa que fluctúan entre 1.900 y 6.000 kg/ha y en sierra de 900 a 4.500 kg/ha.

La aplicación de diversas fuentes de nutrientes y el incremento de las dosis influye positivamente en el rendimiento del grano y la proteína del grano (Risi *et al*., 2015; Jacobsen y Christiansen, 2016; Cosme *et al*., 2020; Wang *et al*., 2020).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 66 10-11-20 15:45

3.5. *Siembra*

La siembra se realiza en surcos, la distancia varía de acuerdo con el tipo de implemento o equipo empleado para el surcado, el tipo de control de malezas y el aporque. Pueden estar distanciados de 0,50 a 1,0 m. Las semillas son colocadas en una sola línea o dos líneas de semillas en el surco. En pocos lugares de la región andina, con terraplenes angostos en las laderas de los cerros y en los *waru-waru,* la siembra se realiza al voleo. La siembra por trasplante se usa muy poco en algunos valles interandinos y costa (Gómez y Aguilar, 2016).

3.6. *Humedad para el cultivo*

En la región de la sierra, donde se encuentra la mayor área cultivada de quinua, el cultivo se conduce en condiciones de secano o la humedad del campo depende de las precipitaciones que determinan la época de cultivo de octubre-noviembre a junio-julio, dependiendo de las diferentes zonas de la sierra. Las lluvias excesivas en suelos con problemas de drenaje reducen en forma significativa los rendimientos.

En la región de la costa la humedad se da por riegos ya sea por gravedad o por goteo (Gómez y Aguilar, 2016). Las fases fenológicas en las que no debe faltar agua son en la germinación, desarrollo vegetativo (formación de hojas), en la formación de la panoja, la floración y la fase de crecimiento y llenado de los granos.

Existen muchos estudios que muestran que la quinua tolera muy bien la sequía y que es muy eficiente en el uso del agua (Jacobsen *et al*., 2003; Razzaghi *et al*., 2015; Gámez *et al*., 2019; Naz *et al*., 2020).

3.7. *Manejo de malezas*

El control de malezas en los campos de quinua es difícil porque las plantas crecen lentamente durante las dos primeras semanas después de la emergencia, por lo que no compiten bien con las malezas existentes o emergentes en este periodo importante de establecimiento.

Las malezas de hoja ancha más comunes son quenopodiáceas, amarantáceas y crucíferas y su control es muy importante porque las semillas de algunas de estas especies son muy difíciles de separar en el proceso de acondicionamiento de los granos después de la cosecha (Gómez y Aguilar, 2016) y las plántulas difíciles de diferenciar con los de la quinua en los primeros deshierbos.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 67 10-11-20 15:45

Los métodos de control mayormente son manual, mecánico y cultural y se recomienda combinarlos. Un buen riego antes de la preparación definitiva del campo para la siembra estimula la emergencia de las malezas, y estas son controladas con el arado o herbicidas no residuales antes de la siembra. Esta práctica ayuda a establecer un lecho de siembra limpio y permite que la quinua emerja y comience a crecer antes de que surjan más malezas.

El control manual es el más empleado en parcelas pequeñas. El control mecánico se realiza en áreas más grandes y el implemento o equipo empleado como cultivadores, azadas rotativas y otros depende de la distancia entre surcos o hileras. Sin embargo, las malezas entre las plantas de quinua deben ser removidas manualmente y en este momento es importante diferenciar la quinua de sus parientes silvestres. El control de malezas se debe realizar varias veces durante el ciclo del cultivo (Figura 2) (Gómez y Aguilar, 2016).

Figura 2. Control manual y mecánico de malezas y aporque en campos de quinua en la costa central (Fotos: L. Gómez).

No hay herbicida registrado para controlar malezas en los campos de quinua. Sin embargo, se estudia el efecto de herbicidas pre y postemergentes en la quinua (Díaz *et al*., 2015; Merino *et al*., 2020).

3.8. *Desahíje*

Permite fijar la distancia entre plantas dentro del surco o hilera, la que dependerá de la variedad y su grado de ramificación. Se dejan plantas vigorosas. En esta labor también se eliminan plantas fuera de tipo y enfermas (Aguilar y Jacobsen, 2003; Pérez, 2005; Gómez y Aguilar, 2016). Se recomienda dejar 50 plantas por metro lineal.

3.9. *Aporque*

Es una labor que se realiza cuando el cultivo de quinua se encuentra a inicios de la formación del primordio floral-formación de inflorescencia, permite mejorar la fijación de la planta en el suelo, con lo que se reducen

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 68 10-11-20 15:45

los problemas de acame y contribuye adicionalmente a controlar malezas y a incorporar abono o fertilizante aplicado al suelo en esta fase fenológica (Aguilar y Jacobsen, 2003; Pérez, 2005; Aguilar y Gómez, 2016).

3.10. *Manejo de plagas*

3.10.1. *Enfermedades*

La quinua es afectada por ciertos microorganismos como virus, bacterias y hongos. Entre las bacterias destaca la mancha bacteriana *Pseudomonas* spp., que origina daños importantes en la fase de maduración. Entre las enfermedades fungosas reportadas generalmente figuran el mildiú (*Perenospora variabilis*), el mal de almácigo o podredumbre radicular (*Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* y *Fusarium avenaceum*), pudrición marrón del tallo (*Phoma exigua* var. *foveata*), mancha foliar (*Ascochyta hyalospora*) y el moho gris (*Botrytis cinerea*).

El mildiú es la enfermedad más importante y potencialmente dañina, es común en las principales áreas de producción de quinua de la región andina. Debido a que sus oosporas pueden adherirse a los granos de quinua, este patógeno se transmite por semillas. El patógeno se ve favorecido por temperaturas de 15 a 20 °C y humedades sobre 80%.

Se recomienda el uso de variedades resistentes disponibles, prácticas culturales, biocidas y extractos vegetales para reducir el daño por las enfermedades (Pérez, 2005; Saravia *et al*., 2014; Aguilar y Gómez, 2016).

3.10.2. *Insectos*

Una amplia variedad de plagas de insectos puede dañar la quinua durante todo el ciclo de cultivo y durante el almacenamiento. Según FAO (2011), las pérdidas de rendimiento por efecto de las plagas puede variar de 5 a 67% y su gravedad depende del tipo de insecto, de las variedades, del medio ambiente y del manejo agronómico del cultivo. Saravia *et al*. (2014) señalan dos grupos de insectos claves que originan los daños más significativos conocidos como el complejo Eurysacca (*Eurysacca melanocampta, E. quinoae, E. media*) y el complejo noctuidea (*Helicoperva quinoa, Copitarsia incommoda, C. decolora, Agrotys ipsylon, Spodoptera eridania, S. frugiperda*). Otro grupo de importancia en la costa peruana son los chinches: *Liorrhyssus hyalinus, Nysius simulans, Dagbertus* nr *fasciatus, Dagbertus* spp., y los áfidos *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae* y *Aphis gossypii* (Gómez y Aguilar, 2016).

Su control se realiza empleando buenas prácticas culturales, control mecánico, control biológico, control etológico (trampas de color, trampas

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 69 10-11-20 15:45

de luz, cultivos trampas o barreras vivas), control químico, control legal, control genético, uso de biocidas y extractos vegetales (Pérez, 2005; Saravia *et al*., 2014; Aguilar y Gómez, 2016).

3.10.3. *Nemátodos*

Las especies *Nacobbus aberrans* (falso nemátodo del nudo) y *Thecavermi-culatus andinus* (nemátodo de la oca), se reportan como los nemátodos más importantes en la región andina. Estos nemátodos también afectan cultivos de tuberosas y raíces andinas, limitando su rotación en zonas muy infestadas. Se recomienda su control por medio de prácticas culturales (Gómez y Aguilar, 2016).

3.10.4. *Aves*

Los cultivos de quinua, especialmente con variedades precoces y dulces, son dañados severamente por diversas especies de aves, llegando a disminuir la producción entre 30 y 40%. Se informa de un menor daño en los campos con variedades con granos amargos por el contenido alto de saponina. Sin embargo, las saponinas se eliminan fácilmente con la lluvia y se observan daños significativos, especialmente en campos aislados (Gómez y Aguilar, 2016).

3.11. *Cosecha*

La cosecha generalmente comienza cuando las semillas alcanzan el estado pastoso rayable con la uña; asociado aproximadamente a 20% de humedad cuando las plantas están secas con un color amarillo pálido o rojo y hojas en proceso de defoliación.

La cosecha, dependiendo del tamaño de las parcelas y su ubicación, puede ser manual, mecánica y mixta. El grano debe estar seco, con 12% de humedad aproximadamente para la trilla y el almacenamiento (Gómez y Aguilar, 2016).

3.12. *Manejo postcosecha*

Los granos limpios y clasificados con una humedad de 12-14% y sin lavar deben ser almacenados en sacos limpios y sobre una tarima en ambientes secos. Las semillas de quinua deben ser conservadas en ambientes con baja humedad y fríos. Antes de utilizar la quinua como alimento, las saponinas del pericarpio se eliminan sumergiéndolas en agua o mediante métodos mecánicos o con una pulidora o escarificadora (Gómez y Aguilar, 2016).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 70 10-11-20 15:45

4. AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN EN QUINUA

4.1. *Manejo de germoplasma*

4.1.1. *Conservación*

Varios miles de variedades de quinua y parientes silvestres fueron recolectadas, preservadas y evaluadas por países de la región andina. Las primeras evaluaciones de germoplasma registran datos morfológicos, agronómicos, respuesta a estreses bióticos y abióticos y estudios moleculares.

El número de accesiones conservadas en el banco de germoplasma de diferentes organizaciones peruanas es de alrededor de 6.302. El INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) en diferentes localidades de Puno, Cuzco, Ayacucho, Cajamarca y Junín, gestiona la colección nacional con 1.029 accesiones. Otros bancos de germoplasma se encuentran en la Universidad Nacional del Altiplano (Puno) con 1.910 accesiones, la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) con 2.089 accesiones, la Universidad San Antonio Abad del Cuzco con 554 accesiones y otras pequeñas colecciones en otras universidades (Rojas *et al.*, 2014; FAO WIEWS, 2013; Gómez y Eguiluz, 2011; Álvarez y Céspedes, 2017 y Gómez y Eguiluz, 2019).

4.1.2. *Caracterización de germoplasma*

4.1.2.1. Caracterización morfológica

Las colecciones de germoplasma existentes en Perú han sido caracterizadas morfológicamente (Figura 3) y evaluadas en forma preliminar por caracteres agronómicos (ciclo de vida, altura de planta y rendimiento) y por respuesta a enfermedades, insectos y nematodos. La descripción morfológica y la evaluación agronómica preliminar fue realizada empleando los descriptores de Bioversity International (2013).

4.1.2.2. Caracterización molecular

Accesiones de quinua han sido caracterizadas con diversos marcadores moleculares (AFLP, RAPD y SSR), para determinar la diversidad genética y otros estudios relacionados. Fuentes *et al*. (2008) informan el estudio de la diversidad genética de 28 accesiones del altiplano y 31 accesiones de la costa chilena utilizando marcadores microsatélites determinando 150 alelos entre las accesiones, con un rango de 2 a 20 alelos por *locus* y un promedio de 7,5 alelos y la separación de las accesiones en dos grupos denominados quinuas del norte o de la zona andina y quinuas del sur o de la zona costera.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 71 10-11-20 15:45

Figura 3. Variación morfológica de accesiones de quinua del banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Fotos: L. Gómez).

Diversas accesiones de colecciones peruanas han sido evaluadas empleando marcadores moleculares que corroboran la diversidad genética y algunos de ellos mencionan la agrupación de las accesiones en quinuas del altiplano y quinuas de valle (Alva, 2014; Vía, 2015; Allende, 2017; Ccamapaza, 2017; Donaire, 2018). Accesiones ecuatorianas fueron estudiadas por Salazar *et al*. (2019) empleando15 marcadores SSR, observaron en las 84 accesiones un grado de riqueza alélica con 196 alelos identificados y heterocigosidad genética (HE) igual a 0,71, que demuestran la diversidad de la quinua ecuatoriana y la formación de tres subgrupos.

Romero *et al*. (2019), empleando marcadores microsatélites (SSRs), estudiaron 26 variedades de quinua peruana (Ayrampo, Amarilla de Maranganí, Choclito, Chullpi, Huariponcho, Pandela, Sajama, Witulla, Kcancolla, Negra Collana, Salcedo, Pasankalla, Blanca de Juli, Chenopodium petiolare proveniente del CIP Camacani, Kcancolla, Negra Collana, Pasankalla, Altiplano, Illpa INIA, Salcedo, Ayara, Blanca de Arequipa, Ayara Cancolla, Ayara Pasankalla y Ayara Salcedo) detectando 67 alelos entre las diferentes regiones analizadas, con un promedio de 7 alelos para *loci* que van desde 142 a 240 pb y un número efectivo de alelos de 5,36 e identificaron cinco grupos con un coeficiente de similitud de 0,77.

4.1.2.3. Evaluación de la respuesta a factores bióticos

Las accesiones, en general, han sido evaluadas por su respuesta al mildiú causada por *Perenospora variabilis*. En la colección de la UNALM,

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 72 10-11-20 15:45

compuesta de 2.089 accesiones, se identificaron 120 accesiones con un máximo del 30% del porcentaje de severidad en las hojas (Gómez y Eguiluz, 2011). Calixtro (2017) evaluó la respuesta de 100 accesiones a la enfermedad causada por el mildiú (*Perenospora variabilis*) en condiciones de la sierra central de Perú a 3.200 msnm y señala que del total del material evaluado todas fueron susceptibles a mildiú con valores de 30 a 80% de severidad. Adicionalmente confirma la presencia de oosporas del patógeno en las semillas en un rango de 1.500 a 45.000 oosporas/kg de semillas.

4.1.2.4. Evaluación de la respuesta a factores abióticos

Parte del germoplasma ha sido evaluado por tolerancia a sales, sequía y tolerancia al calor. De 182 accesiones evaluadas por tolerancia a la salinidad en diversas fases de desarrollo con una concentración de NaCl de 30 dS/ m de EC, se identificaron 15 accesiones con un porcentaje de germinación mayor a 60% y cuatro accesiones tolerantes en el estado de maduración o formación de granos (Gómez *et al*., 2010).

La tolerancia al calor en la fase de floración a formación de grano fue evaluada en 25 accesiones de quinua en la costa central de Perú observándose que solo 17 genotipos llegaron a formar granos con un rendimiento máximo de 1.535 kg/ha y los genotipos restantes revirtieron a la fase vegetativa con temperaturas alrededor de 25 °C durante la floración (Mendoza, 2013). Asimismo, Sanabria y Lazo (2018) reportan la tolerancia al calor de seis variedades de quinua (Kancolla, Salcedo, Ccoito, Negra Ccollana, Pasankalla e Illpa) cultivadas en macetas a temperaturas de 34/32 °C (día/noche) por tres días a baja intensidad lumínica y testigos referenciales con temperatura de 22/20 °C. La tolerancia a la alta temperatura se determinó midiendo la termoestabilidad de la membrana empleando discos de hojas de las variedades estudiadas, las que fueron sometidas a una temperatura de 50 °C por 8, 16, 32 y 64 min y el tiempo letal al 50% de daño (TL_{50}). Se informa el incremento del daño celular con el aumento del tiempo de exposición. En las plantas cultivadas con 22/20 °C la variedad Salcedo presenta menor porcentaje de daño y la variedad Pasankalla fue la más afectada, y a tiempos de exposición más prolongados las variedades Negra Collana e Illpa presentan menor porcentaje de daño celular. Se determinó el grado de termotolerancia en relación con el TL50, donde la variedad más termotolerante del grupo 22/20 °C fue la variedad Negra Collana y la más sensible fue la variedad Pasankalla. En el grupo de plantas 34/32 °C, la variedad Illpa fue la más termotolerante y la variedad Ccoito la más sensible. Las variedades Pasankalla e Illpa presentaron mayor TL50 para

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 73 10-11-20 15:45

el grupo 34/32 °C, la variedad Kancolla no presentó diferencias entre el grupo de plantas 22/20 °C con las de 34/32 °C.

La evaluación por tolerancia a sequía fue realizada empleando 41 variedades, las que fueron sometidas a estrés hídrico total por dos semanas en la etapa de floración lográndose identificar 26 genes en las variedades estudiadas y señalan que tres genes son regulados al alza ante la exposición a la sequía y cinco genes (AUR62037809, AUR62000271, AUR62037807, AUR62042825 AUR62009791) tienen un cambio en su patrón de expresión como consecuencia de la exposición a la sequía en las tres variedades consideradas tolerantes (Serna *et al*., 2020).

4.1.2.5. Evaluación de la calidad

La evaluación de algunos caracteres de calidad, en el germoplasma peruano, fue realizada en la colección de la Universidad Nacional Agraria La Molina Agraria. Se caracterizaron 950 accesiones procedentes de Ancash (127), Apurímac (145), Ayacucho (3), Cajamarca (12), Cusco (133), Puno (530) por color de grano (pericarpio y episperma), tamaño de grano, contenido de proteína del grano y saponina. Adicionalmente se caracterizaron 125 accesiones de quinua que incluyen material colectado (60) y líneas mutantes (65) por contenido de aceites, proteínas y cenizas. En todas las localidades se encontraron quinuas con bajo, intermedio y alto contenido de proteína, grasas, cenizas y saponina. Igualmente hubo variación en tamaño de granos dentro de las panojas de la misma accesión y entre las accesiones, predominando los granos de tamaño intermedio a pequeño. Existe mucha diversidad en color de granos, muchos de estos pierden intensidad por la radiación en campo y durante el proceso de lavado y de la cocción tornándose de color crema. El contenido de proteína varió de 7-23,7% (bs), el contenido de grasa de 4,79 a 9,46% (bs), la ceniza de 2,051 a 4,62% (b.s.) (Gómez y Eguiluz, 2011 y 2019 y Pereda, 2016).

En el estudio de la calidad de las 12 variedades de quinua más empleadas por los agricultores se observó una variación en el contenido de proteína de 11,24 a 16,81 g/100 g en el contenido de grasa de 6,0 a 7,60 g/100 g, de 2,57 a 3,48 g/ 100 g, de fibra dietética de 3,0 a 10,27 g/100 g, de carbohidratos de 55,67 a 65,84 g/100 g (IICA, 2015).

En los granos de 29 accesiones de germoplasma de quinua se determinó la presencia de betaxantinas y betacianinas, fitoquímicos considerados como potentes antioxidantes presentes en algunas especies del orden Caryophyllales, que explican la diversidad de colores presentes en la quinua. Se reporta la presencia de betalaínas, actividades antioxidantes, eliminación de radicales libres y la presencia de dopaxantina como un

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 74 10-11-20 15:45

constituyente significativo en los extractos obtenidos de las accesiones estudiadas (Escribano *et al*., 2017).

Estudios similares fueron realizados en Bolivia, se reporta la evaluación de 3.178 accesiones de la colección nacional de germoplasma de quinua por caracteres de calidad como tamaño (diámetro y espesor), contenido de saponinas, peso de 1.000 granos, color de grano y otros. La evaluación del valor nutricional de 555 accesiones (proteína, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos y energía calórica) y las variables agroindustriales de 266 accesiones (diámetro de granulado de almidón, llenado de agua y azúcar invertido) para orientar el uso de germoplasma en la producción de productos elaborados de calidad a base de quinua (Rojas y Pinto, 2015).

4.2. *Estudios agronómicos*

4.2.1. *Comportamiento agronómico de la quinua en nuevas zonas de cultivo de Perú*

En Perú, en la última década la zona de cultivo comercial de quinua se extendió a nuevas áreas como los yungas (500-2.500 msnm) y la costa (cero-500 msnm) con temperatura moderada a cálida, respectivamente (Figura 4). En ambas zonas, en general, la agricultura se realiza con sistemas de riego y de media a alta tecnología. La evaluación de un número significativo de variedades comerciales y accesiones de germoplasma de quinua en condiciones de la costa peruana, muestra una mejor adaptación de las variedades del ecotipo quinua altiplano a las zonas costeras en las siembras de invierno-primavera. En general, sin embargo, ambos ecotipos no toleran temperaturas superiores a los 25 °C en la fase de floración –*antesis*–. El rango de rendimiento de los genotipos evaluados en diferentes

Figura 4. Campos comerciales de quinua en condiciones de yunga y costa central de Perú (Fotos: L. Gómez).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 75 10-11-20 15:45

experimentos en la década del 2000 es de cero a 6.330 (Apaza, 1995; Echegaray, 2003; Tapia, 2003; Mercedes, 2005; Barnett, 2005; Gómez y Gordon, 2012; Mendoza, 2013).

Los últimos estudios muestran diferentes niveles de rendimiento dependiendo de las fechas de siembra. Mamani (2018) estudió el comportamiento de 10 cultivares de quinua en la zona árida de Arequipa (Santa Rita de Siguas) a 1.500 msnm (yunga) con riego e identifica a Amarilla Maranganí Nº 6b como la de mejor comportamiento agronómico con un rendimiento de 3.837,9 kg ha^{-1}, con un peso de 1.000 granos de 2,75 g, con 75,37% de granos comerciales y con un contenido de saponina de 5,95 mg g^{-1}. Campos (2018) estudió el comportamiento de 14 accesiones de quinuas del ecotipo altiplano en condiciones de la costa central, sembrados en invierno-primavera e informa un rango de rendimiento de granos de 346,15 a 2.851,65 kg/ha y de contenido de proteína de grano 8,85 a 17,97%, un contenido de saponina de grano de 0 a 1,48%, un peso de 1.000 granos de 1,5 a 3,9 g. También señala que los factores que incidieron negativamente en el rendimiento de quinua fue la alta susceptibilidad de las accesiones a *Peronospora variabilis* "Mildiú", la infestación de *Lyriomiza huidrobrensis* "Mosca Minadora", el daño de aves silvestres y las malezas de hoja ancha y hoja angosta predominando *Nicandra physalodes*.

Carbajal (2019) estudió el comportamiento de 11 variedades comerciales de quinua en condiciones de la costa central, en siembras de invierno-primavera, identificando a las variedades altiplano (5 t/ha), Quillahuamán (3,6 t/ha), Amarilla Sacacca (3,1 t/ha), Amarilla de Maranganí (3 t/ha) como las de mejor rendimiento de granos y a la variedad Negra Ccollana por su buen contenido de proteína en el grano (18,765%). Adicionalmente observó que las variedades provenientes del altiplano peruano fueron más susceptibles al mildiú (*Perenospora variabilis*) en las primeras etapas fenológicas y las provenientes del valle tuvieron mayor incidencia en etapas finales en un rango de severidad de 1% a 70%.

Antezana (2019), en siembra de verano, determinó el efecto combinado de sequía (estrés hídrico) y calor en dos líneas mutantes PAS 50 y MQ AM 250-283 y dos variedades comerciales INIA Salcedo y Amarilla Sacaca en condiciones de La Molina (costa central); no observó diferencias significativas entre los tratamientos de riego y estrés hídrico en los valores de rendimiento, biomasa aérea, índice de cosecha, altura de planta, días a la floración y días a la madurez y el peso de mil granos; pero sí disminución en el contenido de proteína, mostrando la tolerancia de la quinua a la sequía. Señala una mayor tolerancia al efecto combinado sequía-calor en la línea mutante MQ AM 250-283 con un rendimiento promedio mayor

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 76 10-11-20 15:45

a los otros genotipos igual a 1.820,5 kg/ha, en peso de mil granos de 2,5 g y un contenido de proteína igual a 15,61%.

Minchola (2020) realizó un estudio similar en siembra de invierno en condiciones de La Molina y los valores promedio de los caracteres agronómicos de ambos tratamientos (control-riego completo y estrés hídrico), en general, presentaron valores similares, lo que aparentemente mostraría la tolerancia de la quinua al estrés hídrico en los cuatro genotipos estudiados. La línea mutante MQ Pas-50 obtuvo el mayor rendimiento promedio con 3.591,60 kg/ha, tanto en el control-riego normal y el estrés hídrico, en comparación con los otros genotipos estudiados. Se señala que el estrés hídrico no afectó el contenido de proteína de los genotipos estudiados y que el peso de mil granos fue ligeramente mayor en el experimento de estrés hídrico. La línea mutante MQ Pas-50 fue la que presentó el valor más alto para peso de mil granos con 3,73 g (control) y 3,88 g (estrés hídrico).

4.2.2. *Densidad de siembra*

Deza (2018) estudió dos densidades de siembra (1 y 2 hileras/surco) en cuatro genotipos de quinua –dos líneas mutantes y dos variedades comerciales– en un sistema de fertiirrigación y no encontró diferencias significativas en rendimiento y los caracteres agronómicos evaluados en ambas densidades de siembra, señalando que el genotipo LM 89-77 presentó el mayor rendimiento promedio en las dos densidades (4.699,2 kg/ha).

4.2.3. *Regímenes de riego y eficiencia de uso de agua en quinua*

Se utilizaron los siguientes volúmenes de riego: T0 (2.638 m³/ha capa neta, sin plástico), T1 (2.638 m³/ha capa neta, más plástico), T2 (2.039 m³/ha capa neta, más plástico) y T3 (1.319 m³/ha capa neta, más plástico) en la costa central. El plástico era polietileno reciclado (1,2 m de ancho y 15 micrones de espesor) enterrado a 25 cm de profundidad y cubierto en un surco subterráneo de 40 cm de ancho, debajo del surco de siembra, para preservar el agua de riego y hacerla más disponible para la planta. La lámina de agua se calculó utilizando el programa CROPWAT 8.0 FAO. Con los tratamientos T0, T1, T2 y T3 los rendimientos de grano fueron 3.163 kg/ha, 3.333 kg/ha, 3.039 kg/ha y 2.234 kg/ha, respectivamente. Los regímenes de riego no tuvieron un efecto significativo respecto de la calidad del grano; sin embargo, provocó una reducción en la altura de la planta, el diámetro del tallo, la longitud de la panícula, el número de granos por panícula, los días hasta la madurez y el rendimiento de grano. La línea mutante La Molina 89-77 mostró una alta eficiencia

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 77 10-11-20 15:45

en el uso del agua en condiciones de estrés hídrico, alcanzando un valor máximo de 1,68 kg/m³, superior al T1 (100% capa neta, plástico) y T0 (100% apuesta capa, sin plástico) con valores de 1,21 kg/m³ y 1,15 kg/m³, respectivamente (León, 2014).

Chirinos (2017) determinó la eficiencia de uso de agua en una variedad local con 16 lisímetros de drenaje equipada con 01 sistema de riego por goteo, 01 protector de lluvias y 01 pluviómetro con tres regímenes de riego (T-1: 100% evapotranspiración del cultivo-ETc, T-2: 50% ETc y T-3: 25% ETc) observando los valores de eficiencia de uso de agua de 1,23; 1,00 y 1,20 ton m^{-3}, y un consumo de agua de 446, 290 y 166 mm para las dosis de riego del 100%, 50% y 25% de la ET, respectivamente.

Franco (2018), estudió el efecto de tres regímenes de riego: R1 = 4.800 m^3/ha (100% Requerimiento de Riego Total), R2 = 4.200 m^3/ha (87,5% RRT) y R3 = 3.600 m^3/ha (75% RRT), en el rendimiento de cuatro variedades de quinua: La Molina 89, Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana.; observando el máximo rendimiento en grano en La Molina 89 igual a 7.343 kg/ha con 4.800 m^3/ha de agua superior en 28,3% y 58,1% a los obtenidos con R2 y R3, respectivamente. En este estudio se observó una eficiencia de uso de agua (EUA), en La Molina 89 de 1,39 kg/m^3, superior en 456%, 1,885% y 1,290% a Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana, respectivamente, y de igual forma señala que los regímenes de riego en estudio no influyeron en el porcentaje de proteínas y saponinas de las variedades La Molina 89, Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana.

4.2.4. *Fertilización y eficiencia del uso de nitrógeno*

Sánchez (2015) determinó, en sesenta y tres líneas mutantes M_4 y el parental LM 89 de quinua, los valores medios de la Eficiencia en el Uso de Nitrógeno Interno (EUNI) reportando una variación de 42,6 a 59,01 kg/kg y un valor medio del experimento de 48,17 kg/kg de N y señala que 32 líneas mostraron valores superiores a la media del experimento en La Molina. Las prácticas de manejo empleadas fueron similares a las utilizadas en la producción comercial de quinua y la dosis de NPK fue 100-60-0, con una aplicación de N en dos etapas de desarrollo, al momento de la siembra y al inicio de la etapa de inflorescencia.

Deza (2018) estudió la eficiencia de uso de nitrógeno y el efecto de dos sistemas de aplicación de fertilizantes (fertirriego y edáfico), con riego por goteo, en el comportamiento de cuatro genotipos de quinua: dos variedades comerciales (INIA Salcedo y INIA 420–Negra Ccollana) y dos líneas mutantes avanzadas (MQPas–50 y LM 89–77) en condiciones de la costa central, informando un contenido de cenizas de los granos de 2,79 g/100 g y

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 78 10-11-20 15:45

de 3,63 g/100g en el sistema fertirriego y edáfico, respectivamente. Los valores de eficiencia de uso de nitrógeno para el sistema de aplicación edáfica fueron igual a 60,12 kg/ha y para el sistema riego fue igual a 54,79 kg/ha y el genotipo LM 89-77 presentó la mayor absorción media de nitrógeno tanto en grano como en biomasa, con valores de 96,07 y 77,47 kg/ha.

Yactayo (2018) estudió la respuesta de las variedades comerciales de quinua: INIA Salcedo, Altiplano, La Molina 89 y la línea mutante MQPas-50 a fertilización inorgánica, orgánica y mixta. Los mejores resultados fueron obtenidos con la dosis 150-180-200 kg/ha N-P_2O_5 y K_2O con un adicional de 22 y 42 kg/ha de Mg y S en las fuentes orgánicas y mixtas. Los rendimientos máximos alcanzados fueron para Altiplano 7.740 kg/ha con la fertilización orgánica, La Molina 89 con 7.017 kg/ha con la fertilización mixta, la línea mutante MQPas-50 con 6.578 kg/ha con la fertilización mixta e INIA Salcedo con 4.850 kg/ha con la fertilización inorgánica.

Gonzales (2019), empleando los siguientes tratamientos: testigo no fertilizado, NPK (120-60-120 kg/ha), NPK + Ca (80 kg/ha), NPK + Ca + Fe (12 kg/ha)-Mn (8 kg/ha)-Zn (6 kg/ha), 10 y 20 t/ha de compost evaluó el rendimiento y la calidad de la variedad La Molina 89 en condiciones de La Molina bajo riego por goteo. El testigo no fertilizado produjo 4.794 kg/ha, los tratamientos NPK, NPK + Ca y NPK + Ca + Fe-Mn-Zn tuvieron rendimientos similares, iguales a 6.081 kg/ha, 6.079 kg/ha y 5.784 kg/ha, respectivamente. El rendimiento con compost fue igual a 5.985 kg/ha, 5.708 kg/ha y 5.361 kg/ha con 10 t, 207 y sin compost, respectivamente. Adicionalmente se determinó para la variedad LM 89 una eficiencia de uso de agua (EUA) de 1,99 kg de granos por m^3 de agua aplicado, un índice de cosecha (IC) de 34,9 por ciento, un índice de área foliar (IAF) de 2,18 m^2/m^2 de superficie foliar por superficie de terreno y un coeficiente de transpiración (CT) de 185,5 litros evapotranspirados por kilogramo de materia seca producida.

4.2.5. *Manejo de enfermedades y plagas*

Risco (2014) estudió el efecto de fosfito de potasio (FP), azúcar fosfatado (KO), lactobacillus (E), fermentados de sólidos soluble (A), FP+E, KO+E, FP+A, KO+A, metalaxyl (TM) y testigo absoluto sin aplicación (T) para el control de mildiú en quinua variedad Pasankalla y observó que los mejores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos fosfito de potasio con un rendimiento de 4.059 kg/ha, metalaxyl con 3.686 kg/ha y FP+E con 3.568 kg/ha.

León *et al*. (2018) evaluaron el control de mildiú *Perenospora variabilis* con esporas de 10 cepas de *Trichoderma* con cuatro aplicaciones

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 79 10-11-20 15:45

foliares ($1x10^7$ ufc.ml^{-1}) y observaron que todas las cepas lograron colonizar diferentes partes de la planta de la variedad Salcedo INIA y que los tratamientos que recibieron aplicaciones con las cepas T1, T3 y T2 fueron los menos afectados con el mildiú, con valores de AUDPC de 615,7; 706,8 y 759, respectivamente, y presentaron los valores más altos en el rendimiento de grano (3.127,30; 3.029,12 y 2.866,57 kg. ha^{-1}, respectivamente) en comparación al testigo con AUDPC de 1670.5 y rendimiento 1.141,27 kg. ha^{-1}.

5. CONCLUSIONES

La quinua es un cultivo importante en la región andina de Perú y es un cultivo alternativo para las zonas marginales de la costa con problemas de sales y déficit de agua de riego.

Las investigaciones realizadas en la última década permiten revalorar las variedades tradicionales y las técnicas de cultivo, priorizar las investigaciones para solucionar los factores negativos de mayor impacto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, P.C.; Jacobsen, S.E. 2003. Cultivation of quinoa on the Peruvian Altiplano. Food Rev Internat 19: 31-41.

Alva, J. 2014. Caracterización Molecular de 75 accesiones de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Valles Interandinos del Banco de Germoplasma Nacional de Perú, mediante Marcadores Microsatélites. Tesis de Licenciatura. Lima- Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Álvarez-Cáceres, A.; Céspedes-Flórez, E. 2017. Catálogo del Banco de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow). Programa de Investigación en Quinua del Centro de Investigación en Cultivos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. ISBN Nº 978-612-4174-30-8, 369 p.

Allende Ciballero, M.J. 2017. Caracterización morfológica y molecular de accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd) para estimar variabilidad genética. Tesis Maestría Mejoramiento Genético de Plantas. Lima-Perú. Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, 90 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2935

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 80 10-11-20 15:45

Antezana Febres, E. 2019. Respuesta de quinua (*Chenopodium quinoa*) al estrés de sequía y calor bajo condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agrónoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina, 71 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3966

Aguilar, P.C.; Jacobsen, S.E. 2003. Cultivation of quinoa on the Peruvian Altiplano. Food Reviews International. Vol 19 (1-2), 34-41. https://doi.org/10.1081/FRI-120018866

Agrawal, R.S. 2018. Quinoa-supergrain of the future: A Review. The Pharma Innovation Journal 7(11): 249-251.

Apaza, W. 1995. Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en Costa Central. Tesis Ing. Agrónomo. Lima- Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, 112 p.

Apaza, V.; Cáceres, G.; Estrada, R.; Pinedo, R. 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. FAO and INIA, Perú.

Arzapalo- Quinto, D.; Huamán-Condor, K.; Quispe-Solano, M.; Espinoza-Silva, C. 2015. Extracción y Caracterización del Almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodiun quinoa* Willd.) Negra Collana, Pasankalla Roja y Blanca de Junín. Revista de la Sociedad Química del Perú, 81 (1): 44-54. ISSN 1810-634X.

Barnett, A.M. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina.138 p.

Berti, C.; Riso, P.; Brusamolino, A.; Porrini, M. 2005. Effect on appetite control of minor cereal and pseudocereal products. Brazilian Journal of Nuttition. 94:850-858. DOI: 10.1079/BJN20051563.

Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. 2013. Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Bioversity International, Roma, Italia; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia. ISBN: 978-92-9043-927-1.

Bois, J.F., Winkel, T.; Lhomme, J.P.; Faffaillac, J.P.; Rocheteau, A. 2006. Response of some Andean Cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperatura: Effects on germination, phenology, growth and freezing. European Journal of Agronomy 25: 299-308. doi:10.1016/j.eja.2006.06.007

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 81 10-11-20 15:45

Canahua, A.; Ho, R. 2003. Reintroducción del agroecosistema de las *waru waru*. LEISA Revista de Agroecología, Vol 19 N°2: 25- 27.

Ccamapaza Almanza, Y. 2017. Marcadores Moleculares en el Estudio e Identificación de Alelos Reproducibles en Diferentes Variedades de Quinua. Tesis, Biólogo. Puno-Perú. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Altiplano- Puno, 70 p. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6457/Ccamapaza_Almanza_Yesenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calixtro-Zárate, M.G. 2017. Respuesta de 100 accesiones de quinua a la infección natural de mildiú (*Peronospora variabilis* Gäum) en el Valle del Mantaro. Tesis Ingeniero Agrónomo. Lima- Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Agraria La Molina. 74 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/281

Campos Morales, C.S. 2018. Accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotipo altiplano en condiciones de costa central. Tesis Ing. Agrónoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina. 112 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3558

Carbajal Cáceda, M.C.A. 2019. Comportamiento de once variedades comerciales de Quinua (Chenopodium quinoa Willd) en condiciones de Costa Central-La Molina. Tesis Ing. Agrónoma. Lima- Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina. 92 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3882

Chirinos Ortiz, T. 2017. Efecto de la dosis de Riego en el Consumo y Eficiencia del uso del Agua de un Ecotipo Local de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Lisímetros de Drenaje en la Comunidad de Ccaje-Juli-Chucuito-Puno, Campaña 2015-2016. Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola. Puno-Perú. Escuela de Posgrado de Universidad del Altiplano, 114 p.

Cosme, R.C.; Reynoso, A.F.; Sanabria, S. 2020. Efecto del guano de isla en el rendimiento de dos variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en suelo degradado. Agroindustrial Science, Vol 10, Nº 2: 191-198. DOI: http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.10

Christensen, S.A.; Pratt, D.B.; Pratt, C.; Nelson, P.T.; Stevens, M.R.; Jellen, E.N.; Coleman, C.E.; Fairbanks, D.J.; Bonifacio, A.; Maughan, P.J. 2007. Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. Plant Genet. Res. 5:82-95.

Díaz-Rodrígue,z B.; López-Deza, A.; Valle-Colchao, D.B.M. 2019. Posición competitiva del Sistema de Agronegocios de quinua de Perú

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 82 10-11-20 15:45

en Estados Unidos. Ciencia y negocios Vol. 1(2): 75-86. http://doi.org/10.22497/Cien.yNeg.12.1207. ISSN Nº 2706-5413.

Díaz, J.; Seguel, I.; Morales, A. 2015. Quínoa: oportunidad y desafío para la agricultura familiar campesina en Chile. Revista Tierra Adentro. Especial Quínoa N°108. p. 62-67.

Deza Montoya, D.P. 2018. Rendimiento y calidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con dos densidades de siembra y dos sistemas de fertilización en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agrónoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, 90 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3222

Donayre Tataje, G.V. 2018. Caracterización molecular de 75 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del Departamento de Puno mediante marcadores microsatélites. Tesis Bióloga. Lima -Perú. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis, 109 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3520

Echegaray, T. 2003. Evaluación de Métodos de Cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones de costa. Tesis Ing. Agrónoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina Lima-Perú. 105 p.

Escribano, J.; Cabanes, J.; Jiménez-Atiénzar, M.; Ibañez-Tremolada, M.; Gómez-Pando, L., García-Carmona, F.; Gandía-Herrero, F. 2017. Characterization of betalains, saponins and antioxidant power in differently colored quinoa (*Chenopodium quinoa*) varieties. Food Chemestry 234:285-294.

Franco Villafuerte, J.A. 2018. Regímenes de riego en el crecimiento y rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo- Lima-Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Agraria La Molina, 178 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3666

FAO (Food and Agriculture Organization). 2011. Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security. Technical report, 63 p.

FAO-WIEWS. 2013. Sistema mundial de información y alerta sobre los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación. http://apps3.fao.org/wiews

Fuentes, F.F.; Martínez, E.A.; Hinrichsen, P.V.; Jellen, E.N.; Maughan, P.J. 2009. Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. Cons. Genet. 10:369-377.

Gandarillas, H. 1986. Estudio anatómico de los órganos de la quinua. Estudio de caracteres correlacionados y sus efectos sobre el rendimiento.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 83 10-11-20 15:45

Hibridaciones entre especies de la subseccion. Cellulata del Genero *Chenopodium*, La Paz, Bolivia.

Gámez, A.L.; Soba, D.; Zamarreño, A.M.; García-Mina, J.M., Aranjuelo, I.; Morales, F. 2019. Effect of Water Stress during Grain Filling on Yield,Quality and Physiological Traits of Illpa and RainbowQuinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) Cultivars. Plants, 8, 173, 1-15; doi:10.3390/plants8060173.

Gómez-Pando, L.; Alvarez-Castro, R.; Eguiluz-de la Barra, A. 2010. Effect of Salt Stress on Peruvian Germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd: A Promising Crop. J. Agronomy & Crop Science, 196: 391-396.

Gómez, L.; Eguiluz, A. 2011. Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Universidad Nacional Agraria La Molina, 183 p. doi:10.3390/plants8060173.

Gómez Pando, L.; Mujica, A.; Chura, E.; Canahua, A.; Pérez, A.; Tejada, T.; Villantoy, A.; Pocco, M.; Gonzales, V.; Marca, S.; Ccoñas, W. 2014. Perú. Capítulo 5.2. En: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): 450-461.

Gómez, L.; Aguilar, E. 2016. Guía del cultivo de la quinua. Universidad Nacional Agraria La Molina. FAO, Lima- Peru.121 p.

Gómez, L.; Eguiluz, A. 2019. Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Universidad Nacional Agraria La Molina, ISBN Nº 978-612-4387-31-9, 211p.

Gómez, L.; Gordon, A. 2012. Sistemas de cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en el rendimiento y calidad en condiciones de verano en La Molina. *Revista Agroenfoque (*Año XXVIII), 185.

González, J.; Konishi, Y.; Bruno, M.; Valoy, M.; Prado, F. 2012. Interrelationships among seed yield, total proteína and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agoecological regions. Journal of the Science of Food and Agriculture 92:1222-1229.

Gonzales Gutiérrez, J.C. 2019. Materia orgánica y niveles nutricionales en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. La Molina 89. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina. 172 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4106

Gordillo-Bastidas, E.; Díaz-Rizzolo, D.A.; Roura, E.; Massanés, T.; Gomis, R. 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), from nutritional value to potential health 93 benefits: An integrative review. Journal of Nutrition and Food Science.6:497. DOI: 10.4172/2155-9600.1000497.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 84 10-11-20 15:45

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2015. El mercado y la producción de quinua en el Perú. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA -- Lima, Perú.

Jacobsen, S.E. 2003.The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Food Rev Intern 19(1/2):167-177.

Jacobsen, S.E., Liu, F.; Jensen, C.R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Sci Hortic 122:281-287.

Jacobsen, S.E.; Christiansen, J.L. 2016. Some agronomic strategies for organic quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) J. Agron. Crop Sci., 202, 454-463.

Koziol, M.J. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), Journal of Food Composition and Analysis. 5: 35-68.

Lamothe, L.M.; Srichuwong, S.; Reuhs, B.L.; Hamake, B.R. 2015. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. Food Chemistry 167:490-496. DOI: 10.1016/j.foodchem.201 4.07.022.

León, R. 2014. Respuesta del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) línea mutante "La Molina89-77" a tres regímenes de riego en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina Lima-Perú. 93 p.

León Ttacca, B.; Ortiz Calcina, N.; Condori Ticona, N.; Chura Yupanqui, E. 2018. Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control del mildiú (*Peronospora variabilis* Gäum.) y mejora del rendimiento de quinua. Revista de Investigaciones Altoandinas, 20(1): 19-30. http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/issue/archive.

Lescano, J.L. 1994. Mejoramiento y fisiología de cultivos andinos. Cultivos andinos en el Perú. CONCYTEC, Proyecto FEAS, Lima, Perú.

Lutz, M.; Bascuñán-Godoy, L. 2017. The Revival of Quinoa: A Crop for Health. In: Superfood and Functional Food-An Overview of Their Processing and Utilization. Waisundara, V. and Shiomi, N. editors. IntechOpen DOI: 10.5772/63180.

Mamani Condori, M.B. 2018. Comportamiento agronómico de diez cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedentes del valle altoandino, en zona árida. Tesis Ing. Agrónoma. Arequipa-Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 121 p. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8354

Mattila, P.; Mäkinen, S.; Eurola, M.; Jalava, T.; Pihlava, J.M.; Hellström, J.; Pihlanto, A. 2018. Nutritional Value of Commercial Protein-Rich Plant Products. Plant Foods for Human Nutrition 73:108-115.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 85 10-11-20 15:45

Maughan, P.J.; Kolano, B.A.; Maluszynska, J.; Coles, N.D., Bonifacio, A.; Rojas, J.; Coleman, C.E.; Stevens, M.R.; Fairbanks, D.J.; Parkinso,n S.E.; Jellen, E.N. 2006. Molecular and cytological characterization of ribosomal RNA genes in *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium berlandieri*. Genome 49: 825-839.

Mendoza, V. 2013. Comparativo de Accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de Costa Central. Tesis Ing. Agrónoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina, 138p.

Mercedes, W. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis Maestría. Lima- Perú. Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, 72 p.

Merino. J.; Pedreros, A.; Fischer, S.; López, M.D. 2020. Effect of post-emergence herbicides on stress indicators in quinoa. Chilean Journal of Agricultural Research 80 (1): 21 -29. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100021.

Minchola Villacorta, K. 2020. Respuesta de la Quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd.*)* al Estrés Hídrico en Siembras de Invierno Bajo Condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agronoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía. Universidad Agraria La Molina. 86 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4432

Miranda, M.; Vega-Gálvez, A.; López, J.; Paradac, G., Sanders, M.; Aranda, M.; Uribe, E.; Di Scala, K. 2010. Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinua seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). Industrial Crops and Products. 32: 258-263.

Mujica, A.; Jacobsen, S.E.; Izquierdo, J.; Marathée, J.P. 2001. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. In: Izquierdo Fernández JI et al (ed) Cultivos Andinos. FAO, Santiago (CD-ROM).

Mujica, A.; Jacobsen, S.E. 2006. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Editores: M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev. Botánica Económica de los Andes Centrales: 449-457.

Murphy, K.M.; Matanguihan, J.; Fuentes, F.F.; Gómez-Pando, L.R.; Jellen, E.N.; Maughan, P.J.; Jarvis, D.E. 2019. Quinoa Breeding and Genomics. In Plant Breeding Reviews. Cap 7. Vol 42. Ed. Irwin Goldman. University of Wisconsin- Madison, WI, USA. WILEY: 257-320.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 86 10-11-20 15:45

Naz, H.; Akram, N.A.; Kong, H. 2020. Assessment of Secondary Metabolism Involvement in Water Stress Tolerance of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) Subjected to Varying Water Regimes. Pak. J. Bot., 52(5): 1553-1559. DOI: http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-5(8).

Pereda, J. 2016. Calibración para determinar composición proximal de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) usando la espectroscopía de transmitancia en el infrarrojo cercano. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Lima-Perú. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, 115 p.

Pérez Ávila, A. 2005. Manejo del cultivo de quinua en la Sierra Central. Serie Manual Nº 1-05. INIA-Perú. 41 p.

Pinedo, R.; Gómez Pando, L.; Julca Otiniano, A. 2017. Caracterización de los sistemas de producción de quinua (*Chenopodium quinoa Willd)* en el distrito de Chiara, Ayacucho. Aporte Santiaguino. Vol 10_02- Julio-Diciembre, 2017 (ISSN: 2070-836X): 351-364.

Pulvento, C.; Riccardi, M.; Lavini, A.; Lafelice, G.; Marconi, E.; d' Andria. 2012. Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and Non-saline Irrigation Regimes. Journal of Agronomy and Crop Science 198: 254-263. ISSN 0931-2250.

Rao, N.K.; Hirich, A.; Salehi, M.; Saadat, S.; Jacobsen, S.E. 2019. Quinoa: A New Crop for Harsh Environments. Springer Book: © Springer Nature Switzerland AG B. Gul et al. (eds.), Sabkha Ecosystems, Tasks for Vegetation Science, 6: 301-333. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04417-6_19.

Razzaghi, F.; Jacobsen, S.; Jensen, C.R.; Neumann, M. 2015. Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought-mechanisms of tolerance. Funct. Plant Biol.2015,42, 136-148.

Repo-Carrasco-Valencia, R.; Melgarejo-Cabello, S.; Pihlava, J.M. 2019. Nutritional Value and Bioactive Compounds in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) and Kiwicha (*Amaranthus caudatus* L. In: Quinoa: Cultivation, Nutritional Properties and Effects on Health. Peiretti, P and Gai, F. editors. Nova Science Publishers.

Risi, J.; Rojas, W.; Pacheco, M. 2015. Producción y mercado de la quinua en Bolivia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA. La Paz, Bolivia. 308 p.

Risco Mendoza, A. 2014. Severidad de *Perenospora variabilis* GÄUM. en *Chenopodium quinoa* Willd. Pasankalla como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. Tesis Maestría

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 87 10-11-20 15:45

Fitopatología. Lima-Perú. Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria la Molina. 107 p.

Rojas, W.; Pinto, M.; Alanoca, C.; Gómez, L.; León-Lobos, P.; Alercia, A.; Diulgheroff, S.; Padulosi, S.; Bazile, D. 2014. Estado de la Conservación *ex situ* de los recursos genéticos de quinua. Capitulo Numero 1.5. In: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): 65-94.

Rojas, W.; Pinto, M. 2015. Ex Situ Conservation of Quinoa: The Bolivian Experience. Chapter 8. In: Murphy K. and Matanguiban J. (Editors). Quinoa: Improvement and Sustainable Production. World Agriculture Series. WILEY Blackwell, 125-160.

Romero, M.; Mujica, A.M.; Pineda, E.; Ccamapaza, Y.; Zavalla, N. 2019. Genetic identity based on simple sequence repeat (SSR) markers for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). International Journal of Agriculture and Natural Resources. Plant breeding, Genetics and Genetic ResourcesVol 46, Nº 2, 166-178. DOI: http://dx.doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2144

Ruales, J.; Nair, B. 1993. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds .Food Chemistry. 48: 131-136.

Sanabria, K.; Lazo, H. 2018. Aclimatación a la alta temperatura y tolerancia al calor (TL50) en 6 variedades de *Chenopodium quinoa*. Revista Peruana de Biología. Vol 25 (2): 147-152. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. ISSN-L 1561-0837.

Salazar, J.; de Lourdes Torres, M.; Gutiérrez, B. 2019. Molecular characterization of Ecuadorian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) diversity: implications for conservation and breeding. *Euphytica* 215**,** 60 (2019). https://doi.org/10.1007/s10681-019-2371-z

Sánchez, V. 2015. Identificación preliminar de líneas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) con mayor eficiencia en el uso de Nitrógeno. Tesis Ing. Agrónoma. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina. 114 p.

Saravia, R.; Plata, G.; Gandarillas, A. 2014. Plagas y enfermedades en el cultivo de quinua. Cochabamba, BO, Fundación PROINPA; FAO, Rome, Italy.

Serna, F.; Montenegro, J.D.; Cruz, W.; Koc, G. 2020. Identificación de genes relacionados con la tolerancia a la sequía en 41 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Agropecuaria 11 (1): 31-38. http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 88 10-11-20 15:45

Tapia, M.E.; Mujica, S.A.; Canahua, A. 1980. Origen, distribución geográfica y sistemas de producción en quinua. *In* "Primera Reunión sobre Genética y Fitomejoramiento de la quinua". Universidad Técnica del Altiplano, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación Internacional para el Desarrollo. Puno, Perú, p: A1-A8.

Tapia, F. 2003. Influencia de dos tecnologías de cultivo en la producción de quinua *(Chenopodium quinoa* Willd*)* en Costa. Tesis Grado Maestría Producción Agrícola, Lima-Perú. Escuela de Posgrado; Universidad Nacional Agraria La Molina. 113 p.

Vía, R. 2015. Determinación de la diversidad genética de 172 accesiones de la colección nacional de *Chenopodium quinoa* Willd. "Quinua" mediante marcadores microsatélites. Tesis Licenciada en Bióloga. Lima-Perú. Universidad Ricardo Palma FCB. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/926/Fernandez_rn.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Wang, N.; Wang, F.; Shock, C.C.; Meng, C.; Qiao, L. 2020. Effects of management practices on quinoa growth seed yield and quality. Agronomy 10, 445: 1-15.

Yactayo Coyotupa, P.M. 2018. Rendimiento y calidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con diferentes fuentes de fertilización en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina. 148 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/367

Zaman, M.; Shahid, S.A.; Heng, L. 2018. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, Springer, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190- 3_2

Zhang, T.; Gu, M.; Liu, Y.; Yi, Y.; Zhou, L.; Lu, H.; Liang, S.; Bao, H.; Zhao, H. 2017. Development of novel InDel markers and genetic diversity in *Chenopodium quinoa* through whole-genome re-sequencing. BMC Genomics 18: 685. https://doi.org/10.1186/s12864-017-4093-8.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 89 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 90 10-11-20 15:45

RECUPERACIÓN Y REVALORACIÓN DEL CULTIVO ANCESTRAL DEL PEPINO DULCE (*SOLANUM MURICATUM* AITON) ECOTIPO MORADO DE TACNA

Óscar Fernández C.
Betty Mamani H.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 91 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 92 10-11-20 15:45

INTRODUCCIÓN

El pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) es una fruta subtropical originaria de los andes en América del sur (Cavusoglu, 2013), pertenece a la extensa familia de las solanáceas (Torrent, 2014). Los primeros cronistas españoles describen al pepino como un cultivo de costa; el valle de Moche en Perú fue particularmente famoso por el cultivo de pepino y fue importante durante la época precolombina, pero desde el declive del imperio Inca se convirtió cada vez más en un cultivo descuidado (Mahato *et al*., 2016).

Dentro de la gran diversidad de especies originarias de Perú, existen aquellas consideradas de importancia económica mundial (papa, maíz, tomate, frijol) y aquellas de importancia regional que en el futuro podrían contribuir aún más a la producción de alimentos y materias primas (Leipzig,1996), en cuya relación de especies está presente *Solanum muricatum* "Pepino dulce" "Mataserrano". Las variedades tradicionales forman parte del patrimonio cultural de las regiones, comarcas o pueblos (Prohens *et al*., 2016).

En Perú existen dos cultivares importantes: el pepino "corazón" y el pepino "melón"; el primero presenta frutos achatados hacia los lados terminando en punta y presenta vetas ligeramente moradas; el segundo cultivar tiene frutos redondeados, achatados hacia los polos, con vetas azul-morada (Ramos, 2009). Otro autor señala que los cultivares propios peruanos se conocen como corazón de Paloma, Corazón de Toro, morado listado y oreja de Burro, mientras que los frutos de los dos primeros, como sus nombres lo indican, tienen forma acorazonada, los frutos de morado listado son ovoide-cónicos (con tamaño variable y abundante veteado morado) y los de oreja de burro, alargados (de tamaño mediano o grande y con escasa pigmentación) (Torrent, 2014).

Como se observa, ninguno de los autores señalan al pepino dulce ecotipo morado de Tacna, solo el gobierno regional de La Libertad, en el "Manual Técnico pepino dulce", señala la existencia de un pepino morado e informa que se ha extinguido.

Para realizar una revalorización de las variedades locales es necesario conocerlas bien. La información que proporciona la caracterización permite

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 93 10-11-20 15:45

la divulgación de sus propiedades objetivas y la promoción de aquellas variedades que tengan un mayor interés o valor comercial (Prohens *et al*., 2016).

La caracterización morfológica hace referencia a las características fenotípicas que pueden identificarse con facilidad, como la forma, el tamaño, el color, etc. Siendo su principal ventaja su sencillez y menor costo (Torrent, 2014).

En Perú, en conservación *ex situ*, están registradas 56.333 accesiones de 104 especies domesticadas. Estos valiosos recursos fitogenéticos se encuentran en diferentes instituciones: INIA, Universidades, CIP, y organizaciones afines (Leipzig, 1996), sin embargo, en la revisión de los listados y anexos no se incluye al pepino dulce ecotipo morado.

Durante las últimas décadas ha surgido un renovado interés en el cultivo de pepino (Mahato *et al*., 2016), debido a la creciente demanda de su fruta que ya se ha hecho conocida por sus características nutricionales (Arévalo, 2015). El 90% es agua, es bajo en calorías y contiene un alto contenido en vitamina C (Vallejo, 2015). Aunque la mayoría de los cultivares de pepino son sexualmente fértiles y producen semillas viables (Cavusoglu, 2013), tienen un alto nivel de heterocigosis (Huisa, 2013). Tradicionalmente se ha utilizado la reproducción vegetativa.

La conservación de los recursos filogenéticos garantiza su posible uso como fuente de variación genética potencialmente útil, a la vez que evita la pérdida de diversidad genética en la agricultura, con la consiguiente reducción del material vegetal disponible para el uso de las generaciones presentes y futuras (Rayas *et al*., 2019).

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente descritos, el objetivo general es recuperar y revalorizar el cultivo ancestral pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) ecotipo morado de Tacna desde la perspectiva del material vegetal. El objetivo específico es caracterizar la diversidad morfológica de pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) ecotipo morado de Tacna.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal de pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) ecotipo morado de Tacna utilizado para realizar la caracterización morfológica, fue extraído de la colección de pepino dulce del Instituto Basadre de Investigación en Agrobiotecnología Vegetal y Recursos Genéticos (IRGAB) de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG). Este ecotipo fue colectado inicialmente de los agricultores del valle viejo de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 94 10-11-20 15:45

la región de Tacna específicamente de las zonas del El Peligro e Higuerani del distrito de Pachía; quienes durante varias generaciones han conservado este valioso recurso genético que actualmente es muy escaso.

Caracterización de parámetros morfológicos

Para la caracterización morfológica se utilizaron los descriptores para pepino (*Solanum muricatum*) del IPGRI y COMAV, 2004. Se evaluaron 10 plantas de acuerdo con el periodo vegetativo y reproductivo, observándose 27 caracteres cuantitativos y 39 cualitativos. El tallo evaluado fue el principal, las flores se evaluaron cuando se presentó 50% de *antesis* de las flores existentes y los frutos en madurez, cuando cambiaron de color.

2. RESULTADOS

Caracterización morfológica del tallo del pepino dulce (Solanum muricatum* Aiton*) ecotipo morado de Tacna

Se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de 5 caracteres cuantitativos y 2 caracteres cualitativos del tallo.

Tabla 1. Descriptores de características cuantitativas del tallo.

Zona de colecta	Longitud de tallo (cm)	Longitud de entrenudos (cm)
El Peligro	35 ± 5,53 b	2,34± 0,64 b
Higuerani	49,70 ± 6,34 a	3,05± 0,522 a
P-valor	0,0001 (*)	0,0185(*)
CV (%)	14,81	22,75

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

Tabla 2. Descriptores de características cualitativas del tallo.

Descriptores del tallo	Zona de colecta	
	El Peligro	Higuerani
Grado de ramificación (escala IPGRI).	Intermedio	Bajo
Intensidad de antocianina de la punta del brote.	Ausente	Ausente
Densidad de pubescencia del tallo.	Escaso	Escaso
Color del tallo.	Púrpura oscuro	Púrpura verdoso
Protuberancia de raíces en los nudos.	Intermedio	Intermedio

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 95 10-11-20 15:45

Figura 1. Grado de ramificación del tallo de pepino dulce ecotipo morado de Tacna: (a) colecta de El Peligro; (b) colecta Higuerani (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

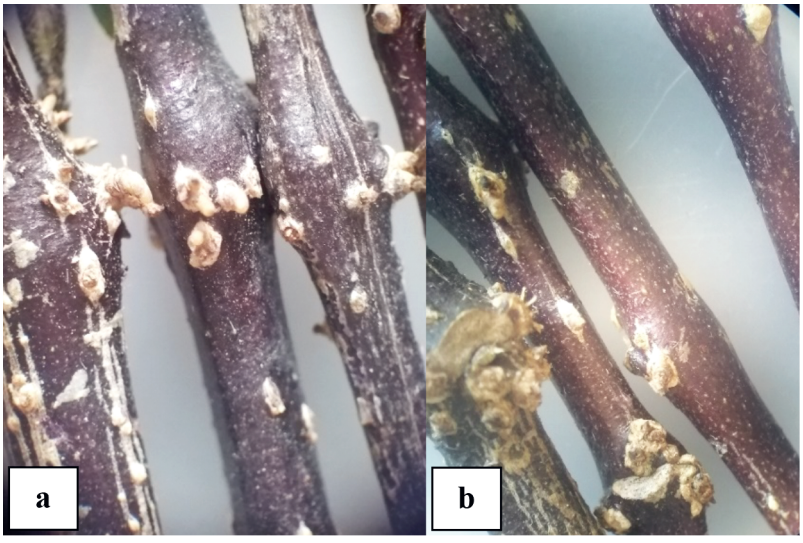

Figura 2. Color del tallo: (a) colecta de El Peligro; (b) colecta Higuerani (Foto: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

Caracterización morfológica de la hoja del pepino dulce (Solanum muricatum **Aiton***) ecotipo morado de Tacna*

Los descriptores cuantitativos, largo y ancho de la hoja, no presentaron diferencias significativas (Tabla 3). Los descriptores cualitativos presentaron

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 96 10-11-20 15:45

similitud, excepto para la característica color de la hoja (Figura 3) y la rugosidad de la hoja

Tabla 3. Descriptores de características cuantitativas de la hoja.

Zona	Largo de la hoja (cm)	Ancho de la hoja (cm)	Relación de largo / Ancho de la hoja
El Peligro	16,87± 2,56	5,63± 0,62	2,60± 0,34
Higuerani	14,68± 2,63	6,41± 1,01	2,64± 0,16
p-valor	0,0904(NS)	0,0634 (NS)	0,789 (NS)
CV (%)	17,35	14,64	10,68

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

Los resultados son la media ± desviación estándar de 10 hojas por zona de colecta. En el análisis estadístico se realizó un ANOVA y la prueba de significancia de Tukey a un nivel de 0,05.

Figura 3. Color del haz de la hoja: (a) colecta de El Peligro; (b) colecta Higuerani (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

Figura 4. Color del envés de la hoja: (a) colecta de El Peligro; (b) colecta Higuerani (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 97 10-11-20 15:45

Tabla 4. Descriptores de características cualitativas de la hoja.

Descriptores de la hoja	Zona de colecta	
	El Peligro	Higuerani
Color del peciolo.	Púrpura verdoso	Púrpura verdoso
Color de la hoja (envés).	Verde Claro	Verde Claro
Color de la hoja (haz).	Verde Oscuro	Verde
Coloración de antocianinas de las venas de la hoja (envés).	Vena principal púrpura y 1/3 de las venas 2darias de color verde	Vena principal púrpura y 1/3 de las venas 2darias de color verde
Coloración de antocianinas de las venas de la hoja (haz).	Venas principales de color púrpura y el resto verde	Venas principales de color púrpura y el resto verde
Actitud de la hoja.	Semierecta	Semierecta
Posición de la parte más ancha de la lámina de la hoja.	Medio	Medio
Tipo de hoja.	Simple	Simple
Forma de hoja.	Alargada	Alargada
Forma del ápice.	Agudo	Agudo
Variabilidad en el tamaño de la hoja.	Bajo	Bajo
Tipo de vellosidad de la hoja haz.	Hirsuto	Hirsuto
Tipo de vellosidad de la hoja envés.	Hirsuto	Hirsuto
Actitud de la superficie de la hoja.	Plana	Plana
Rugosidad de la hoja.	Medio	Bajo

Caracterización morfológica de la flor del pepino dulce (Solanum muricatum **Aiton***) ecotipo morado de Tacna*

En los caracteres cuantitativos –longitud de pétalo, exposición de estilo y número de flores por inflorescencia– la colecta procedente de la zona El Peligro fue significativamente mayor que el sector Higuerani (Tablas 5, 6 y 7).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 98 10-11-20 15:45

Tabla 5. Evaluación de la característica cuantitativa longitud de pétalo de la flor.

Zona de colecta	Longitud del sépalo (mm)	Longitud del estambre (mm)	Exposición del estilo (mm)
El Peligro	7,30± 0,85	6,79± 0,55	3,18±0,20a
Higuerani	7,38± 0,80	6,40± 0,53	2,72±0,46b
P-valor	0,827 (NS)	0,143(NS)	0,012(*)
CV (%)	11,82	8,61	12,57

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

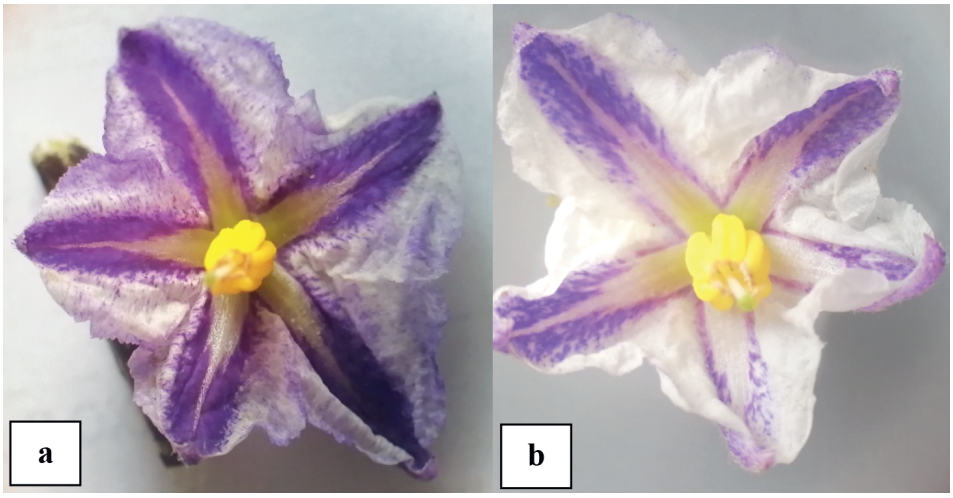

Figura 5. Caracterización de la flor del pepino dulce ecotipo morado de Tacna: (a) colecta El Peligro; (b) Higuerani (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

Tabla 6. Evaluación de longitud del sépalo, estambre y exposición del estilo.

Zona de colecta	Número de flores por inflorescencia		
	Mínimo	Máximo	Promedio
El Peligro	14	24	17,5
Higuerani	13	18	15,3

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 99 10-11-20 15:45

Tabla 7. Evaluación del número de flores/inflorescencia.

Zona	Longitud del pétalo de la base hasta la punta (A) (mm)	Longitud del pétalo de la base hasta el seno (B) (mm)	Relación entre A y B
El Peligro	15,12±1,03 a	10,57±1,63 a	1,46± 0,21
Higuerani	11,60±1,71 b	8,24± 1,08b	1,41± 0,10
P-valor	0,0001(*)	0,0022(*)	0,486(NS)
CV (%)	11,17	15,49	11,86

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

Figura 6. Inflorescencia del pepino dulce ecotipo morado de Tacna: (a) colecta El Peligro; (b) Higuerani (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

Tabla 8. Evaluación de los descriptores cualitativos de la flor.

Descriptores de la flor	Zona de colecta	
	El Peligro	Higuerani
Forma de la corola	Semiestrellado	Semiestrellado
Color de la corola	Combinación (Blanco 25-50% y morado 50-75%)	Combinación (Blanco 50-75% y morado 25-50%)
Producción de polen	Alto	Medio
Tipo de inflorescencia	Generalmente multíparas	Generalmente multíparas

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 100 10-11-20 15:45

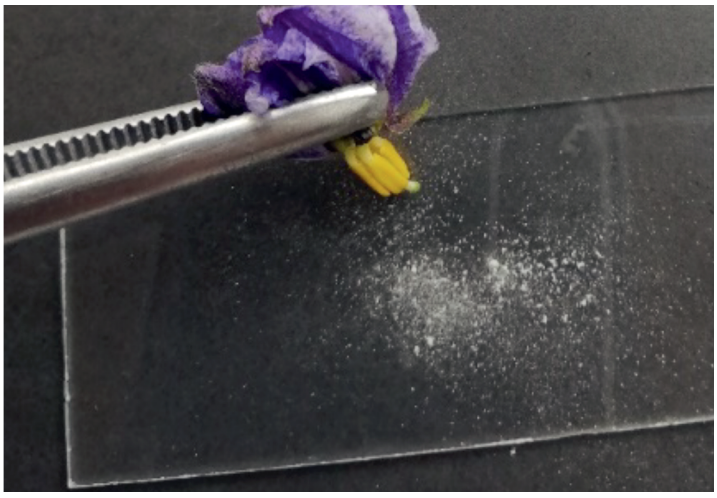

Figura 7. Extracción del polen para evaluar viabilidad (Foto O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

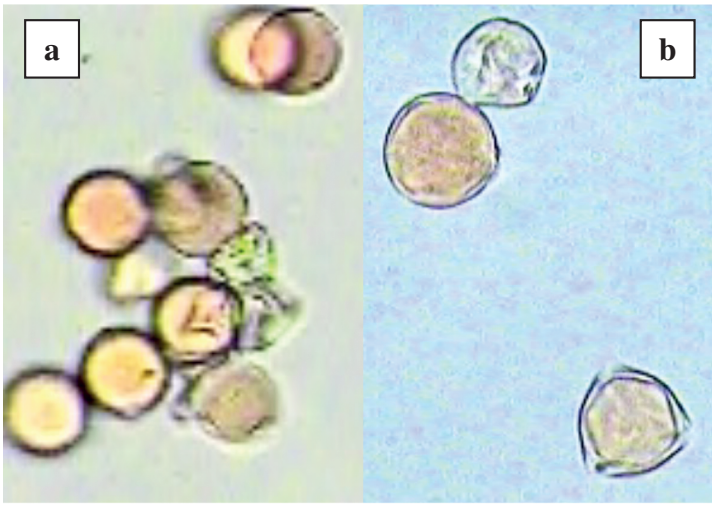

Figura 8. Evaluación de la viabilidad del polen: (a) colecta de El Peligro a 40X; (b) Colecta Higuerani a (100X) (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

*Caracterización morfológica del fruto de pepino dulce (***Solanum muricatum** *Aiton) ecotipo morado de Tacna*

Se encontraron diferencias significativas en el carácter, longitud y ancho de fruto, siendo la colecta de Higuerani la que alcanzó la mayor longitud y ancho de fruto con 13,39 y 7,24 cm, respectivamente (Tabla 9). Asimismo, para la variable peso medio de fruto, la colecta de Higuerani obtuvo 265,44 g/fruto, sin embargo, el fruto de pepino dulce de la colecta El Peligro solo obtuvo la media de 136,19 g (Tabla 13). Otra diferencia

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 101 10-11-20 15:45

importante observada fue el número de lóculos/fruto, encontrándose que la colecta de Higuerani presentó mayor diversidad de número de lóculos oscilando entre 2-4; a diferencia de la colecta de El peligro en que solo se presentaron 2 lóculos/fruto (Tabla 12).

Tabla 9. Evaluación del largo y ancho del fruto.

Zona	Longitud del fruto (cm)	Ancho del fruto (cm)	Relación largo / ancho de fruta
El Peligro	9,13±0,29b	5,00±0,45 b	1,84±0,16
Higuerani	13,39±2,15a	7,24±0,86 a	1,83±0,20
P-valor	0,0001 (**)	0,0001 (**)	0,888(NS)
CV (%)	14,37	11,79	10,24

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

Los resultados son la media ± desviación estándar de 10 frutos. En el análisis estadístico se realizó un ANOVA y la prueba de significancia de Tukey a un nivel de 0,05.

Figura 9. Evaluación del largo y ancho de fruto de pepino dulce ecotipo morado de Tacna: (a) colecta de El Peligro; (b) Colecta Higuerani (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 102 10-11-20 15:45

Tabla 10. Evaluación de la longitud del pedicelo del fruto de pepino dulce ecotipo morado de Tacna.

Zona	Longitud del pedicelo de la fruta (mm)
El Peligro	15,30±0,78 b
Higuerani	19,10± 2,69 a
p-valor	0,0007(*)
CV (%)	12,16

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

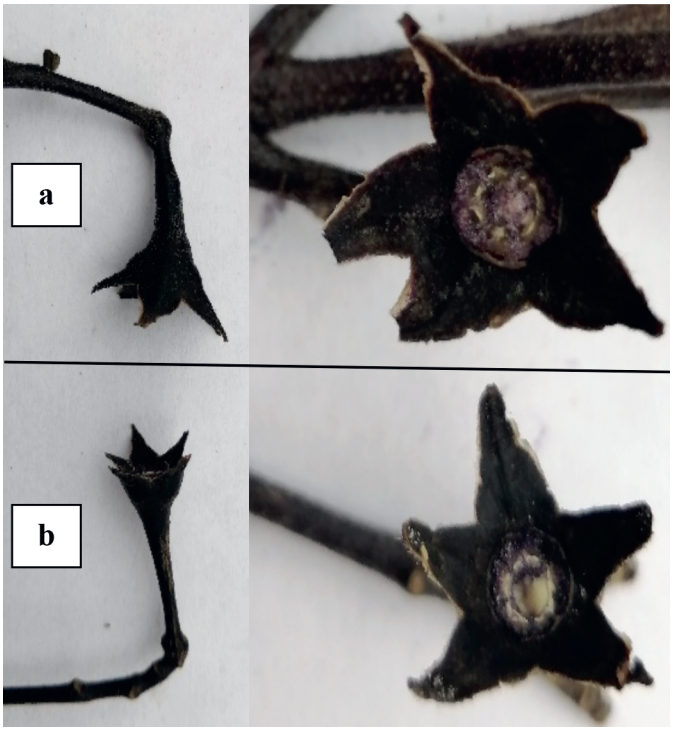

Figura 10. Evaluación del pedicelo del fruto de pepino dulce ecotipo morado de Tacna: (a) Higuerani; (b) El peligro (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 103 10-11-20 15:45

Tabla 11. Evaluación del área placentaria del fruto de pepino dulce ecotipo morado de Tacna.

Zona	Longitud del área placentaria interna (cm)	Anchura placentaria interna (cm)	Relación de longitud / amplitud placentaria interna
El Peligro	6,28± 0,61 b	1,78±0,25 b	3,54± 0,30 a
Higuerani	9,52± 1,86 a	3,12±0,56 a	3,04±0,37 b
P-valor	0,0001(**)	0,0001 (**)	0,0056(*)
CV (%)	18,44	18,68	10,74

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

Los resultados son la media ± desviación estándar de 10 frutos. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (P< 0,05) entre las zonas de colecta de pepino dulce ecotipo morado de Tacna caracterizadas. En el análisis estadístico se realizó un ANOVA y la prueba de significancia de Tukey.

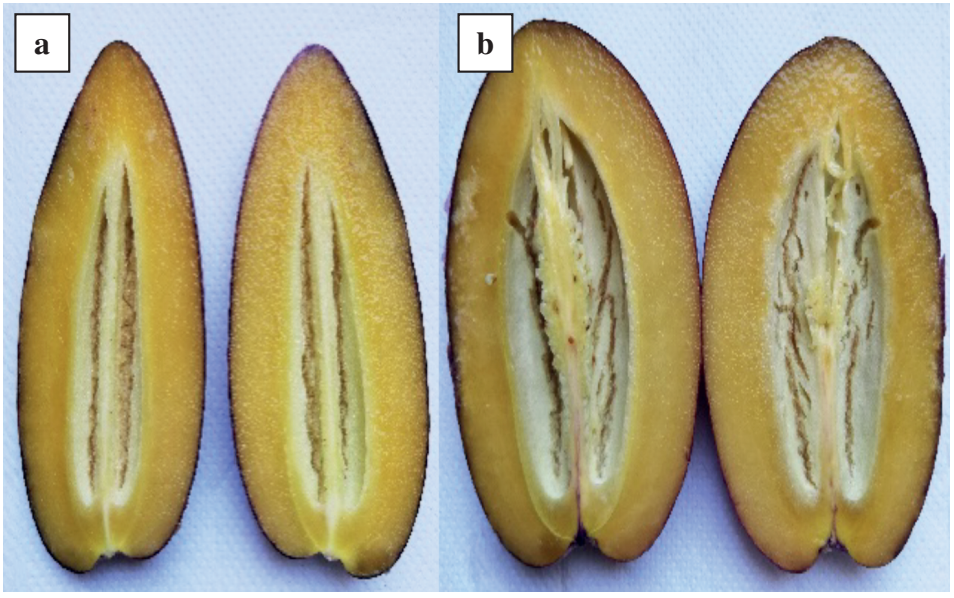

Figura 11. Evaluación del área placentaria del fruto: (a) colecta de El Peligro; (b) colecta Higuerani. (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 104 10-11-20 15:45

Tabla 12. Evaluación del número de lóculos por fruto de pepino dulce ecotipo morado de Tacna.

Zona de colecta	El Peligro			Higuerani
Número de lóculos/fruto	2	3	4	2
Porcentaje	20%	50%	30%	100%

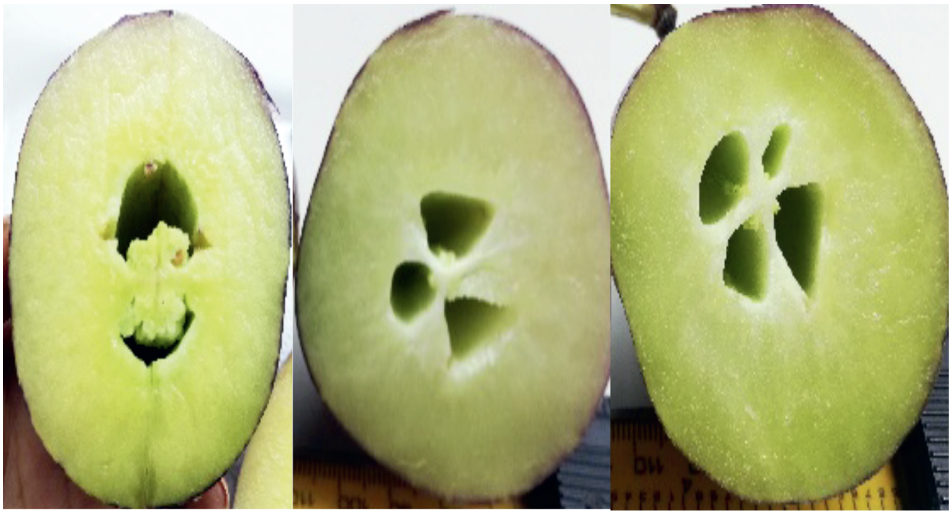

Figura 12. Número de lóculos/fruto (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

Tabla 13. Evaluación del rendimiento/planta y peso medio de frutos de pepino dulce.

Descriptores del fruto	Zona de colecta	
	El Peligro	Higuerani
Uniformidad del tamaño del fruto.	Alto	Intermedio
Forma predominante de la fruta.	Obovada	Obovada
Superficie del fruto.	Suave	Suave
Forma del ápice de la fruta.	Sobresaliente	Sobresaliente
Forma de hombro de fruta.	Muy deprimido	Muy deprimido
Color de fruta inmadura.	Verde con rayas moradas	Verde con rayas moradas
Color predominante de la fruta en la madurez comercial.	Púrpura negro	Púrpura negro

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 105 10-11-20 15:45

Descriptores del fruto	Zona de colecta	
	El Peligro	Higuerani
Color secundario de la fruta en la madurez comercial.	No tiene	No tiene
Brillo de la epidermis de la fruta.	Brillante	Brillante
Firmeza del fruto en la parte más amplia.	Firme	Firme
Densidad de pulpa de fruta.	Densa	Densa
Color de pulpa de fruta.	Amarillo anaranjado	Amarillo anaranjado
Intensidad del color de la pulpa de la fruta.	Intermedio	Intermedio
Sabor a frutas.	Moderadamente dulce	Moderadamente dulce
Presencia de mal sabor amargo.	Ausente	Ausente
Sensibilidad de la fruta (susceptibilidad) a los hematomas.	Resistente	Resistente
Capacidad de pelar frutas.	Intermedio	Fácil
Número de semillas por fruto.	No tiene	Intermedio (26-75)
Color de semilla.	-	Amarillo claro
Tipo de semilla.	-	Sin alas

Tabla 14. Evaluación de descriptores cualitativos del fruto.

Zona	Rendimiento de fruta por planta (g)	Peso medio de la fruta (g)
El Peligro	466,84± 72,09 b	136,19±11,53 b
Higuerani	1.180,69± 147,87 a	265,44± 52,82 a
P-valor	0,0001(**)	0,0001(**)
CV (%)	14,88	20,07

(*): Sí existe diferencia significativa / NS: No existe diferencia significativa.

Los resultados son la media ± desviación estándar de 10 plantas. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (P< 0,05) entre las zonas de colecta de pepino dulce ecotipo morado de Tacna

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 106 10-11-20 15:45

caracterizadas. En el análisis estadístico se realizó un ANOVA y la prueba de significancia de Tukey.

Figura 13. Semillas de frutos de la colecta de Higuerani (Foto: B. Mamani-Huarcaya).

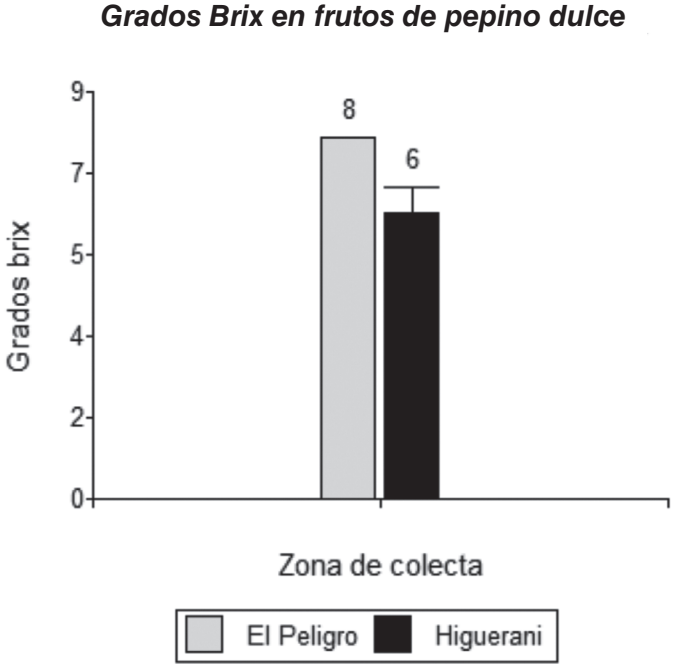

Figura 14. Medición de grados Brix en la pulpa de los frutos de pepino dulceecotipo morado de Tacna.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 107 10-11-20 15:45

Los resultados observados (Figura 14) son la media ± desviación estándar de la lectura de grados Brix de 10 frutos/ colecta de pepino dulce ecotipo morado de Tacna.

Figura 15. Frutos de pepino dulce ecotipo morado de la zona de Higuerani. Se observa la facilidad para retirar su cáscara (Fotos: O. Fernández; B. Mamani-Huarcaya).

3. DISCUSIÓN

La erosión genética es la pérdida de la diversidad genética de una especie (Ruiz *et al*.,2016). A partir de mediados del siglo pasado las variedades tradicionales fueron perdiendo peso como material de cultivo y se han sustituido paulatinamente por las variedades comerciales mejoradas en el marco de una producción cada vez más tecnificada (Prohens *et al*., 2016). La caracterización permite la discriminación relativamente fácil entre fenotipos (Franco *et al*., 2003). Disponer de una caracterización detallada del material es generalmente necesario para su protección (Ruiz *et al*., 2016). En el valle de Tacna, tradicionalmente, solo se cultivaba el pepino dulce ecotipo morado, que actualmente ha sido relegado a su mínima expresión. Existiendo un número reducido de plantas, no siendo posible encontrar áreas de cultivo comercial.

Bajo la premisa de que nadie valora lo que no conoce, se planteó como objetivo de este trabajo realizar una primera caracterización de la diversidad morfológica del pepino dulce *Solanum muricatum* Aiton ecotipo morado de Tacna. Los órganos caracterizados fueron los tallos, hojas, flores y fruto; tanto para sus variables cuantitativas y cualitativas.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 108 10-11-20 15:45

Según la caracterización del tallo de *Solanum muricatum* Aiton ecotipo morado, el 100% de las muestras evaluadas mostraron que el tallo es de color púrpura oscuro. Sin embargo, Nuez *et al*. (1996) reportan que los tallos en la mayoría de los cultivares de pepino dulce son de color verde, con algunas pigmentaciones oscuras en las zonas próximas a los nudos. Torrent (2014) menciona que el color de tallo depende del cultivar, aunque suelen ser verdes, más o menos pigmentados. Ramos (2009), indica que los tallos son de color verde y algunas variedades toman tonos morados más oscuros mientras que Zapana (2014) sugiere que hay algunos cultivares cuya superficie del tallo presenta una fuerte pigmentación, concordando con los resultados obtenidos.

Existe una enorme diversidad entre los cultivares en cuanto al tamaño y la forma de las hojas, estas pueden ser simples o compuestas, con un número de foliolos comprendido entre 3 a 7. En los cultivares de hojas simples son de forma alargada, más o menos lanceolada (Nuez *et al*.,1996). Los resultados de la caracterización de las hojas de *Solanum muricatum,* tanto para los pepinos dulces procedentes inicialmente de material vegetal de las zonas de El Peligro e Higuerani, muestran que son simples y de forma alargada.

Ramos (2009) menciona que las hojas suelen ser simples y lanceoladas, aunque no es extraño encontrar hojas compuestas con 3 y 7 foliolos.

Según Torrent (2014), algunos *Solanum muricatum* presentan hojas de tipo simple alargada y lanceolada, mientras que otros poseen hojas compuestas de entre 3 y 7 foliolos. Además, es común que al inicio del desarrollo las hojas sean compuestas, para posteriormente ser únicamente simples.

Leiva *et al*. (2015) indican que las hojas son alternas o geminadas (aparentemente opuestas), o en rosetas basales; pecioladas o raras veces sésiles; sin estípulas, láminas simples y enteras o pinnatilobuladas o pinnaticompuestas, sin dientes agudos.

Lo aseverado por Nuez *et al*. (1996), Ramos (2009), Torrent (2014) y Leiva *et al*. (2015) concuerda con los resultados obtenidos en la caracterización cualitativa de la hoja de *Solanum muricatum* ecotipo morado, donde el resultado evidenció que en el pepino dulce ecotipo morado las hojas son simples y de formas alargadas en el 100% de las evaluaciones.

Respecto de la longitud de hoja, Nuez *et al*. (1996), Zapana (2014) y Torrent (2014) reportan que la longitud varía desde 10 a 30 cm, dependiendo de su posición en la planta y, en gran medida, de las condiciones de suelo y clima en las que se desarrolla la planta. Los resultados para longitud de hoja de *Solanum muticatum* ecotipo morado se encuentran en un

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 109 10-11-20 15:45

rango de 9,5 a 21 cm en ambas zonas de colecta (El peligro e Higuerani), concordando con lo reportado por Nuez *et al*. (1996), Zapana (2014) y Torrent (2014).

Según los resultados obtenidos en la evaluación de las flores, para la variable color de la corola para *Solanum muricatum* ecotipo morado de Tacna se identificó la combinación del color blanco (25-50%) y morado (50-75%), no existe reporte de la evaluación morfológica en este ecotipo, pero haciendo una comparación con el reporte de Nuez *et al*. (1996), para pepino dulce, los pétalos son de color blanco con vetas moradas, algunos cultivares son de color blanco en su totalidad, mientras que en otros las vetas moradas cubren totalmente el pétalo (corola). Como se puede apreciar, el color de la corola del pepino dulce ecotipo morado se incluiría en el primer tipo de color de corola (blanca con vetas moradas).

Leiva *et al*. (2015) mencionan que las inflorescencias son básicamente cimas recemosas helicoides, axilares o extraaxilares, algunas veces fascículos axilares o panículas, con 1 a muchas flores. Asimismo, las flores bisexuales, actinimorfas. Cáliz tubular, campanulado, verde externamente, verdoso interiormente, glabros, glabrescentes o pubescentes externamente, glabros, o con papilas interiormente, a veces acrescente; limbo 5-lobulado, lóbulos triangulares. Corola simpétala, campanulada, vertricosa, rotada, tubular, hipocrateriforme, blancas, cremosas, moradas, amarillas, lilas, anaranjadas, verdes, glabras externa e interiormente o glabrescentes o pubescente externamente, glabrescente interiormente.

Según lo observado, el color del pepino dulce ecotipo morado se encontraría dentro de los grupos de color de corola reportados por Nuez *et al*. (1996) y Leiva *et al*. (2015) para *Solanum muricatum* Aiton.

Respecto de la variable cuantitativa número de flores por inflorescencia del pepino dulce, Nuez *et al*. (1996), Torrent (2014) y Ramos (2009) reportan que el número de flores normalmente varía entre 5 y 20 flores por racimo. Para Torrent (2014), se observan casos donde se presentan más de 50 flores en un racimo. Asimismo, Nuez *et al*. (1996) mencionan que, en general, pocas flores del racimo llegan a cuajar y pocas de las que cuajan llegan a desarrollar totalmente el fruto.

En los resultados registrados para pepino dulce ecotipo morado se obtuvo en promedio 15 y 18 flores (El Peligro e Higuerani, respectivamente), encontrándose entre los valores mencionados por Nuez *et al*. (1996), Torrent (2014) y Ramos (2009), aun cuando este reporte no es exclusivo para el ecotipo morado.

Los frutos, según Sanjinés *et al*. (2006), son bayas carnosas, esféricas, ovoides a redondeadas o elipsoidales, interiormente divididos por un

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 110 10-11-20 15:45

tabique central (cóncavo), formando dos celdas y sobre él van adheridas las semillas, las mismas que no están bien desarrolladas, pero que pueden germinar.

La caracterización realizada para el fruto de pepino dulce ecotipo morado indicó que esta es una baya carnosa, pero de forma obovada, la cantidad de lóculos varió entre 2 a 4 para la colecta de la zona El Peligro y de 2 lóculos para los frutos de Higuerani. En los lóculos van adheridas las semillas. Cuando las semillas no están desarrolladas los frutos son llamados partenocárpicos.

León (1964) manifiesta que si bien no hay formación de semillas fértiles, el crecimiento del fruto es normal, creyéndose que esta esterilidad es ocasionada después de la primera y segunda división cuando el citoplasma se encoge, la cromatina se concentra en un área pequeña y las paredes celulares se arrugan, deteniéndose el desarrollo normal de la semilla. Según León (1964) y Dance (1999), la mayoría de los clones cultivados no tienen semilla fértil, siendo la mala formación del polen el factor principal de la esterilidad y anomalías en el desarrollo del gameto femenino. Respecto del descriptor número de semillas, en la colecta de pepino dulce ecotipo morado de Tacna de la zona de El Peligro, los resultados coinciden con lo mencionado por León (1964) y Dance (1999), sin embargo, para el caso de la zona de Higuerani se observaron semillas en un número de 27-75 semillas/fruto, las que estaban debidamente formadas y con buen poder germinativo.

Según Amaya (2006), la longitud de los frutos de pepino dulce varía entre 5 y 15 cm, difiriendo de las evaluaciones para esta variable en los frutos de pepino dulce ecotipo morado que alcanzó los 8,70 a 9,50 cm en El Peligro y entre 10,5 a 16,5 cm en Higuerani.

En cuanto a la variable diámetro del fruto, Cruz (2013) manifiesta que este varía entre 6 a 8 cm, a diferencia del ecotipo morado donde el diámetro del fruto osciló entre 4,40 a 5,5 cm (El Peligro) y entre 5,9 a 8,7 cm (Higuerani). Para el caso de la variable peso de fruto Cruz (2013) señala que varía entre 100 a 200 g los más pequeños y de 300 a 400 g los más grandes. En los resultados para peso de fruto del ecotipo morado se obtuvo un rango de 122 g-155 g (El Peligro) clasificándose en la categoría de frutos pequeños. El peso de los frutos de la colecta de Higuerani osciló entre 193 a 366 g estando en un rango intermedio de peso. Es importante señalar que los resultados de esta caracterización morfológica pueden estar influenciados por la variedad o ecotipo y por las condiciones agroclimáticas de donde se cultiva esta especie.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 111 10-11-20 15:45

Cruz (2013) y Torrent (2014) mencionan que la cáscara de la baya es lisa, suave y delgada, su color varía de verde claro, que se transforma en blanco cremoso, para finalmente tornarse amarillo claro con manchas o vetas longitudinales continuas o dispersas de tono morado, a veces casi negras cuando están maduras, aunque en algunos clones no tienen vetas y en otros llegan a cubrir todo el fruto. El color varía según el cultivar y las condiciones ambientales, sobre todo la iluminación y la temperatura. Para el caso de pepino dulce ecotipo morado, la baya es de superficie lisa y suave con cáscara delgada. El color del fruto inmaduro es de color verde con rayas moradas y cuando el fruto está maduro es de color púrpura negro completamente, no existiendo color secundario.

4. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que utilizando los descriptores para pepino (*Solanum muricatum* Aiton) del IPGRI y COMAV (2004), es posible realizar la caracterización morfológica del tallo, hoja, flor y fruto del pepino dulce ecotipo morado de Tacna, provenientes de colectas realizadas en las zonas de El Peligro e Higuerani del valle Viejo de Tacna e instalados en una parcela de investigación en el centro experimental La Agronómica (IRGAB-UNJBG).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrango, J. 2015. Determinar el rendimiento a la aplicación de tres niveles de fertilización con dos bioestimulantes enraizadores en el cultivo de pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton.) en la zona de Ibarra, provincia de Imbabura. Escuela de ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agronómicas- Universidad Técnica de Babahoyo-Ecuador.

Arévalo, K. 2016. Conocimiento ancestral e identificación de uso de la flora útil existente en bosques intervenidos de tres centros poblados de la cuenca del río Ucayali, con fines de manejo y conservación. Loreto-Perú. Escuela de formación profesional de ingeniería en ecología de bosques tropicales, Facultad de Ciencias Forestales, Iquitos- Perú.

Blanca, J.; Prohens, J.; Anderson, G.; Zuriaga, E.; Cañizares, J.; Nuez, F. 2007. AFLP y DNA sequence variation in an Andean domesticate, pepino (Solanum muricatum, Solanaceae): Implecations for evolution and domestication. *American Journal of Botany* 94(7): 1219. 2007.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 112 10-11-20 15:45

Cavusoglu, A.; Sulusoglu, M. 2013. In vitro propagation and aclimatization of pepino (solanum muricatum) Kocaeli university Arslanbey Agricultural Vocational Scool TR-41285 Kocaelli, Turkey. *Journal offood,agriculture & Enviroment* 11 (1): 410-415.

Ceccon, E. 2008. La revolución verde: tragedia en dos actos. Revista de cultura científica Facultad De Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México Ciencias núm. 91, julio-septiembre, pp. 20-29. https://www.revistaciencias.unam.mx/es/44-revistas/revista-ciencias-91/235-la-revolucion-verde-tragedia-en-dos-actos.html

Chávez, R. 2000. Avances y Potencial de la Biotecnología en la Agricultura Actual y del Futuro. *Revista Ciencia y Desarrollo* Nro. 4. UNJBG. Tacna-Perú.

Chilón, E. 2017. Revolución Verde "Agricultura y suelos, aportes y controversias". Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica-UMSA, *Apthapi,* 3(3): 844-859. Sep.-Dic. 2017. ISSN: 2519-9382.

Cruz, E. 2013. Estudio del pepino dulce y análisis de sus beneficios para la implementación gastronómica. Facultad de turismo, hotelería y gastronomía, Universidad tecnológica Equinoccial- Ecuador.

Dance, J. 1999. 143 cultivos nativos en el Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 206 pp.

Eldredge, N. 2001. La Sexta Extinción, revista: Action Bioscience. orghttps://www.actionbioscience.org/esp/nuevas-fronteras/eldredge2.html#fullbio

FAO. 2014. Normas para bancos de germoplasmas de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura-Roma E-ISBN 978-92-5-308262-9.

FAO. 1996. Cumbre mundial sobre la alimentación "Enseñanzas de la revolución verde" http://www.fao.org/3/w2612s/w2612s06.htm.

Franco, T.L.; Hidalgo, R. (eds). 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Boletín Técnico Nº 8. Instituto Internacional de Recursos Genéticos Filogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD (GRLL). 2006. Pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton).

Gambardella, M.1996. Caracterización de ecotipos de pepino dulce (*Solanum muricatum Ait.)* cultivados en Chile. *Agricultura técnica* (CHILE) 56(3):193-200.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 113 10-11-20 15:45

García, M.; Toledo, E.; Alarcón, M.; Marín, E.; Alonso, M.; Cuadrado, I. 2006. Cultivo de pepino dulce alternativa a hortícolas en invernadero. Fundación para la investigación Agraria en la provincia de Almería (FIAPA) Almería-España.

García, M.; Serrano, H. 2011. La revolución verde y sus consecuencias Revista en línea, https://tecnoagro.com.mx/no.-72/la-revolucion-verde-y-sus-consecuencias.

García-García, M.; Gómez, P.; Font, R.; Del Río-Celestino, M. 2017. Pepino dulce una solanácea por descubrir - IFAPA. XL Foro Colab. Público-Privada. Nuevas materias primas sostenibles en la alimentación, Madrid, 14 de Junio 2017.

Herráiz, F.; Vilanova, S.; Andujar, I.; Torrent, D.; Plazas, M.; Gramazio, P.; Prohens, J. 2015. Morphological and molecular characterization of local varieties, modern cultivars and wild relatives of an emerging vegetable crop, the pepino (*Solanum muricatum*), provides insight into its diversity, relationships and breeding history. *Euphytica.* DOI 10.1007/s10681-015-1454-8.

Herráiz, F.; Vilanova, S.; Plazas, M.; Gramazio, P.; Prohens, J. 2016. Relaciones del pepino dulce (*Solanum muricatum*) con otras solanáceas cultivadas a partir de secuencias del trascriptoma e implicaciones para la mejora genética. Horticola II. Acta de horticultura Nº 74.

Hurtado, M.; Merino, M. 1994. Cultivo de Tejidos Vegetales. Editorial Trillas S. A. de C. V. México.

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA-INIA. 2009. Segundo informe sobre el estado de los recursos filogenéticos para la alimentación la agricultura. Sub dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología –SWUDIRGEB Lima-Perú.

INIA- CHILE. 2013. Puesta en valor de pepino dulce (*Solanum muricatum*), producido en el valle de Limarí, a través de la caracterización del recurso genético local asociado a su origen geográfico y el rescate de ecotipos promisorios.

IPGRI and COMAV. 2004. Descriptors for Pepino (*Solanum muricatum*). Internacional Planta Genetic Resources Institute, Rome, Italy, and Centro de conservación y manejo de la Agrodiversidad Valenciana, Valencia, Spain. ISBN 92-9043-616-6.

León, J. 1964. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales, primera edición. IICA-Perú. 204 pp.

Leakey, R.; Roger, L. 1997. LA SEXTA EXTINCIÓN El futuro de la vida y de la humanidad, 1º edición: noviembre 1997 2º edición: noviembre 1998 ISBN: 84-8310-551-9 Depósito legal: 44.135-1998 Fotocomposición: Edition Book-Aragó, 414, entlo. 2º-08013 Barcelona Impreso sobre

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 114 10-11-20 15:45

papel Offset-F. Crudo de Leizarán, S.A.-Guipúzcoa Liberdúplex, S.L.-Constitución, 19-08014 Barcelona Impreso en España http://galeon.com/fierasysabandijas/enlaces/libros/sexext.pdf.

Leiva, S.; Gayoso, G.; Chang, L. 2015. *Solanum lycopersicum* L. "tomate" and *Solanum muricatum* Aiton "pepino" (Solanaceae) dos frutas utilizadas en el Perú Prehispánico, Arnaldoa 22(1): 201-224. ISSN: 1815-8242.

Mahato, S.; Gurung, S.; Chakravarty, B.; Chhetri, B.; Khawas, T. 2016. An introduction to pepino (*Solanum muricatum* Aiton): Review. *International Journal of environment, Agriculture and Biotechnology* (IJEAB) Vol-1, Issue-2, July-Aug-2016. ISSN:2456-1878.

Muñoz, C.; Pertuzé, R. 2014. Genetic variability in Chilean pepino (*Solanum muricatum* Aiton). *Fruit chilean journal of agricultural research* 74(2) april - june 2014 doi:10.4067/S0718-58392014000200003.

Nuez, F.; Ruiz, J. 1996. El pepino dulce y su cultivo. Estudio FAO producción y protección vegetal 136 ISSN 1014-1227.

Ramos, J.C. 2009. Efecto de cuatro niveles de potasio en el rendimiento de dos cultivares de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) en el C.E.A. III Los Pichones.

Solís, M. 2015. Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha. Departamento de Producción vegetal - Universidad politécnica de Valencia.

Suárez de Castro, F. 1993. *Agricultura, Biotecnología y Propiedad Intelectual*. San José, C.R., IICA. 134 p.

Torrent, D. 2014. Caracterización morfológica y molecular en pepino dulce (*Solanum muricatum*) y especies similares relacionadas. Universidad politécnica de Valencia.

Paccha, M. 2018. Determinar los requerimientos hídricos del pepino dulce (*Solanum muricatum* aiton) mediante el lisímetro volumétrico en la parroquia malacatos sector "El porvenir". Tesis de Grado de la carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuarias y recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja-Ecuador.

Prohens, J.; Ruiz, J.; Nuez, F. 1996. The pepino (*Solanum muricatum*): A new corp with a history Vol 50, ISSUE 4pp 355-368. Facultad de Ciencias.

Vallejo, F. 2015. Los cultivos exóticos como alternativa a hortícolas en invernadero: *Solanum muricatum*, trabajo de fin de grado en ingeniería Agrícola, escuela Politécnica superior y facultad de ciencias experimentales de la universidad de Almería.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 115 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 116 10-11-20 15:45

LOS PASTOS DEL ALTIPLANO Y SU CONSERVACIÓN: EL GÉNERO *FESTUCA* COMO UN ESTUDIO DE CASO DE BOLIVIA

Karina Ustariz O.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 117 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 118 10-11-20 15:45

INTRODUCCIÓN

Con una superficie de 1.098.581 km^2, Bolivia se encuentra ubicada en el centro de América del Sur, en una zona de transición entre los climas húmedo tropical y subtropical que incluye las tierras bajas debajo de los 300 msnm y las montañas altas de casi 7000 msnm Es considerado como uno de los países más biodiversos del mundo, conteniendo prácticamente todas las vegetaciones tropicales y una gran variedad de formaciones geológicas (Ibisch, 2005).

La alta biodiversidad en sus regiones ecológicas y unidades pequeñas, denominadas campos nativos de pastoreo (CANAPAS), han facilitado la evolución de una flora nativa valiosa. Dentro de esta diversidad florística, las plantas forrajeras nativas desempeñan funciones importantes, como proporcionar forraje y refugio a los animales salvajes y domésticos, la protección del suelo, la incorporación de la materia orgánica en el suelo, y la captura y manejo del agua de lluvia (Alzérreca, 2004).

Desde el punto de vista florístico, son las gramíneas las que presentan mayor número de géneros y especies, ocupando al mismo tiempo un área total de distribución superior a las otras familias de plantas, siendo el factor más importante en la distribución de especies y formación de asociaciones, el contenido de retención de humedad del sitio, que está determinado por la posición topográfica, la textura y profundidad del suelo.

El altiplano de Bolivia comprende unos 200.000 km^2 con un rango altitudinal entre 3.600 y 4.300 msnm. Se caracteriza por su estrés climático que incluye sequía y heladas, así como condiciones desfavorables del suelo (Geerts *et al*., 2006). La actividad principal de los habitantes de la región es la producción ganadera, donde las llamas (*Lama glama*) son las más comunes, constituyendo alrededor del 70% de la población mundial de llamas (Wheeler, 1991). En esta región, los pastizales nativos constituyen una fuente importante para la alimentación animal, principalmente para los ganados camélido, bovino y ovino (Campero, 2004). Sin embargo, la degradación de los ecosistemas de estos pastizales se encuentra en aumento como consecuencia del sobrepastoreo, el cambio climático, la sequía, el avance en la frontera agrícola y las técnicas de manejo inadecuadas,

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 119 10-11-20 15:45

causando la pérdida de germoplasma forrajero valioso, la proliferación y la multiplicación de especies indeseables sin valor forrajero y la reducción de la cobertura vegetal (Alzérreca, 2004).

Entre los pastos nativos más importantes en la región del altiplano se encuentra el género *Festuca*, que se destaca por su alta tolerancia a la sequía y a las bajas temperaturas. Actualmente 41 especies de este género han sido descritas en la flora de Bolivia, diecisiete de estas son consideradas endémicas y cinco han sido reportadas en peligro de extinción (Jorgensen *et al*., 2014; Mercado *et al.*, 2013; Meneses *et al.*, 2012).

2. GENERALIDADES DEL GÉNERO *FESTUCA* L.

El género *Festuca* L. comprende aproximadamente 450 especies. Presenta una distribución cosmopolita y está adaptada a una variedad de hábitats que van desde los humedales hasta los ecosistemas xéricos, pero también crece en condiciones extremas en montañas y áreas árticas/subárticas (Yamada, 2011; Inda *et al*., 2008).

La mayoría de las especies de *Festuca* son alógamas, con una amplia variación en el nivel ploidía que va desde diploide ($2n = 2x = 14$) a dodecaploide ($2n = 12x = 84$) (Stammers *et al*., 1995).

Las dos especies forrajeras de *Festuca* con importancia agrícola mundial son *F. arundinacea* y *F. pratensis*. Otras especies, también con cierta importancia, son *F. rubra* y *F. ovina*, las que son utilizadas principalmente como césped y como alimento para el ganado.

2.1. *Taxonomía*

La clasificación del género *Festuca* propuesta por Carl von Linné en 1753 es la siguiente:

Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Pooideae
Tribu	Poeae
Subtribu	Loliinae
Género	*Festuca*

Las características morfológicas en *Festuca* ofrecen una selección poco adecuada de caracteres para identificar las especies con certeza

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 120 10-11-20 15:45

(Renvoize, 1998). Si bien los caracteres histofoliares apoyan para establecer identificaciones más confiables, actualmente aún existen dificultades para identificar especies con precisión.

2.2. *Descripción botánica*

Plantas perennes cespitosas o rizomatosas. Hojas basales o caulinares; vainas cerradas o hendidas; lígula membranácea con el margen ciliado; láminas lineares, planas, conduplicadas o convolutas, tiernas hasta duras y punzantes. Inflorescencia en panícula contraída o laxa, pauci a multiespiculada. Espiguillas 2-plurifloras, perfectas, comprimidas lateralmente, pediceladas, raquilla articulada arriba de las glumas y entre los antecios. Glumas 2, en general menores que los antecios, persistentes, la inferior 1(-3) nervia, la superior 3-nervia. Lemma no carinada, con dorso redondeado, obtusa, aguda o aristada, arista apical o subapical, 5-nervia; pálea con carinas escabrosas o ciliadas. Ovario con ápice glabro o piloso (Renvoize, 1998).

3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA EN BOLIVIA

El género *Festuca* se distribuye en la Región Andina Tropical, que incluye las provincias biogeográficas Yungueña Peruano-Boliviana, Puneña Mesofítica, Puneña Xerofítica y Boliviano-Tucumana, en altitudes que varían de 1.500 a 4.800 msnm. La mayoría de las especies de *Festuca* descritas en el país se encuentran en las región del altiplano que comprende los departamentos de La Paz, Potosí y Oruro, pero también pueden encontrarse en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz (Tabla 1).

Tabla 1. Especies de *Festuca* descritas en la flora de Bolivia.

Taxón	Departamento	Altitud (msnm)
Festuca argentinensis (St.-Yves) Türpe	PO	3.500-5.000
Festuca arundinacea Schreb.	LP	3.500-4.000
Festuca asplundii E.B. Alexeev	LP	3.500-4.000
Festuca boliviana E.B. Alexeev*	CO	2.000-2.500
Festuca carrascana Stancik y Renvoize*	CO	2.000-2.500
Festuca chrysophylla Phil.	PO	3.500-5.000
Festuca chuquisacae Stancik y Renvoize*	CH	2.500-3.000
Festuca cochabambana E.B. Alexeev*	CO, SC	2.000-3.000

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 121 10-11-20 15:45

Taxón	Departamento	Altitud (msnm)
Festuca copei Renvoize*	CH, CO, LP, PO	2.500-4.000
Festuca cuzcoensis Stancik P.M. Peterson	LP	3.000-4.000
Festuca dolichophylla J. Presl	CH, CO, LP, OR, PO	3.000-5.000
Festuca fiebrigii Pilg*	CH, CO, LP, OR, SC, TA	2.500-4.500
Festuca hieronymi Hack	CH, CO, PO, TA	1.500-4.500
Festuca humilior Nees & Meyen	CH, CO, LP, TA	3.000-4.500
Festuca hypsophila Phil.	PO	4.000-4.500
Festuca laeteviridis Pilg*	PO	2.500-3.000
Festuca lanifera E.B. Alexeev*	CO	2.000-2.500
Festuca lasiorrhachis Pilg.	N/D	3.500-4.000
Festuca lilloi Hack	TA	2.000-3.000
Festuca nemoralis Türpe	CO, LP	3.000-4.000
Festuca orthophylla Pilg.	LP, OR, PO, TA	3.000-5.000
Festuca parvipaniculata Hitchc.	CO, LP	2.500-4.500
Festuca parodiana (St.-Yves) Nicora	LP, SC, TA	2.000-3.500
Festuca peruviana Infantes	LP, OR	3.500-5.000
Festuca petersonii Renvoize*	PO	4.000-4.500
Festuca procera Kunth	CO, LP, PO, TA	3.000-4.500
Festuca potosiana Renvoize*	LP, PO, TA	3.500-5.000
Festuca rigescens (J.Presl) Kunth	CO, LP, PO, TA	3.500-5.000
Festuca rubra L.	CO	2.500-3.000
Festuca samensis Joch. Müll.*	CH, SC, TA	2.500-3.000
Festuca scabrifolia Renvoize*	LP	3.500-4.000
Festuca scabriuscula Phil.	LP	3.000-4.500
Festuca soratana E.B. Alexeev*	LP	3.500-5.000
Festuca stebeckii Renvoize*	CO	3.000-3.500
Festuca steinbachii E.B. Alexeev*	CO	2.500-3.000
Festuca stuebelii Pilg.*	CO, LP, PO	3.000-5.000
Festuca subulifolia Benth.	N/D	N/D
Festuca tovariensis Stancik & P.M. Peterson	LP	2.500-3.500
Festuca trollii E.B. Alexeev*	CO	2.500-4.000
Festuca ulochaeta Nees ex Steud.	N/D	N/D
Festuca villipalea (St.-Yves) Alexeev	LP, OR, PO	3.500-5.000

ALT = Altitud en metros sobre el nivel del mar; CO = Cochabamba; CH = Chuquisaca, LP = La Paz; OR = Oruro; PO = Potosí; SC = Santa Cruz; TA = Tarija; N/D = Sin datos; * = endémico para el país.

4. IMPORTANCIA DEL GÉNERO *FESTUCA* EN EL ALTIPLANO DE BOLIVIA

La vegetación nativa es el resultado de periodos cortos de lluvia y de bajas temperaturas. Sin embargo, puede también estar influenciada por otros factores como ser la radiación solar, la amplia variación de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 122 10-11-20 15:45

temperaturas, la baja humedad, la baja presión de oxígeno, la geomorfología y el tipo de suelo (Alzérreca y Lara, 1988; Campero, 2004).

Diferentes tipos de vegetación nativa en el altiplano de Bolivia han sido descritos, donde las especies del género *Festuca* siempre han sido reconocidas como parte de los pastizales nativos. Alzérreca y Lara (1988) dividieron la región en cinco tipos de asociaciones vegetales que incluían tolares, pastizales, tolares-pastizales, bofedales y gramadales. Asimismo, Moraes y Beck (1992) dividieron la región en tres tipos de asociaciones vegetales: 1) altiplano húmedo, con vegetación caracterizada por la presencia de *Festuca dolichophylla*, comúnmente conocida como chilliwa, 2) altiplano seco, donde los arbustos de tola (*Parastrepia lepidophylla*) y el ichu (*Festuca orthophylla*) eran las especies más dominantes y 3) región desértica, que incluía diferentes plantas xerofíticas. Años más tarde, Genin y Alzérreca (2006) actualizaron la información añadiendo más asociaciones vegetales en la región. *F. dolichophylla* fue descrita como predominante en los pastizales de chilliwa y junto con *F. rigescens* también fue encontrada en bofedales. Además *F. orthophylla* fue descrita como la especie más dominante y con mayor importancia en la alimentación de los camélidos constituyendo los pastizales de iru ichu (Tabla 2).

Tabla 2. Principales asociaciones de plantas, especies dominantes y producción de forraje de pastizales nativos en el altiplano de Bolivia.

Asociación de plantas	Especies dominantes	Producción de forraje (materia seca en kg ha^{-1})
Tolar-*Parastrepia*	*Parastrepia lepidophylla*	200-700
	Erodium cicutarium	
	Nasella pubiflora	
Tolar-*Baccharis*	*Baccharis incarum*	150-650
	Tetraglochin cristatum	
Otros tolares	*Fabiana densa*	150-600
	Lampaya castellani	
Pastizales de Iru ichu	***Festuca orthophylla***	100-500
	Deyeuxia spp.	
Pastizales de Ichu	*Stipa ichu*	100-500
	Bouteloua simplex	
Gramadal	*Distichlis humilis*	700-1.000
	Mulhenbergia fastigiata	
Pastizal de *Hordeum*	*Hordeum muticum*	900-3.300
	Distichlis humilis	
Pastizal de Chilliwa	***Festuca dolichophylla***	550-2.000
	Trifolium amabile	

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 123 10-11-20 15:45

Asociación de plantas	Especies dominantes	Producción de forraje (materia seca en kg ha^{-1})
Bofedal	*Distichia muscoides*	750-6.000
	Oxychloe andina	
	Plantago tubulosa	
	Festuca dolichophylla	
	Festuca rigescens	
Praderas con cojines	*Azorella compacta*	220-300
	Pycnophyllum spp.	
	Calamagrostis vicunarum	
Totoral	*Schoenoplectus tatora*	2.000-15.000
	Myriophyllom spp.	
Kemparal	*Bacharis juncea*	2.000-4.000
	Distichlis humilis	
Churquiales, palquiales	*Prosopis ferox*	500-700
	Acacia feddeana	

Fuente: Genin y Alzérreca (2006).

Los pastizales de chilliwa generalmente se encuentran en suelos profundos, se consideran como campos de pastoreo nativo de alto potencial de forraje (Figura 1). Se utilizan intensivamente para el pastoreo de camélidos y rumiantes (Genin *et al.*, 1994; Campero, 2004). A pesar de que el valor nutritivo de *F. dolichophylla* no es muy alto en comparación con

Figura 1. Pastizal de Chilliwa (*Festuca dolichophylla*) (Fotos: K. Ustariz).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 124 10-11-20 15:45

otros forrajes, el valor nutricional de este pastizal aumenta debido a la presencia de otras especies vegetales asociadas como ser Layu (*Trifolium amabile*), Sillu sillu (*Lachemilla pinnata*), Siqui (*Hypochoeris* spp.), Cebadilla (*Bromus catarthicus*), cola de ratón (*Hordeum muticum*), chiji (*Distichlis humilis*), kemallu (*Eleocharis* spp.), poita (*Poa annua*) y chiji negro (*Muhlenbergia fastigiata*) (Genin y Alzérreca, 2006).

Festuca orthophylla es la especie más dominante en los pastizales iru-ichu. Desempeña un papel importante en el control de la erosión y ha sido considerada como un "ingeniero de paisajes" (Monteiro *et al*., 2011). Sin embargo, los camélidos (especialmente llamas) se alimentan de hojas frescas/regeneradas e inflorescencias, reduciendo su potencial reproductivo. Esta planta perenne presenta hojas duras y erectas y generalmente se encuentra en suelos de mala calidad con alto porcentaje de arena. Generalmente se asocia con arbustos de los géneros *Baccharis* y *Parastrepia* y otras especies que aparecen durante la estación húmeda como *Distichlis humilis, Mulhenbergia fastigiata* y *Deyeuxia* (Genin y Alzérreca, 2006). A pesar del bajo valor nutricional, constituye una importante fuente de alimento para los ganados camélido y bovino, especialmente durante la época seca y fría (Genin *et al*., 1994) (Figura 2).

Figura 2. Pastizal Iru-ichu (*Festuca orthophylla*) (Fotos: K. Ustariz).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 125 10-11-20 15:45

Los bofedales denominados también humedales, son prados con vegetación natural siempre verde proporcionando alta calidad de forrajes. Se encuentran en todas las provincias biogeográficas de la región tropical andina. Aunque la mayoría de las especies representativas pertenecen a los géneros *Distichia*, *Oxychloe* y *Plantago*, *F. dolichophylla* y *F. rigescens* han sido descritas como parte de este humedal y constituyen un importante recurso de alimentación para el ganado bovino y ovino, contribuyendo a la producción de leche, cuero y lana en el altiplano (Genin y Alzérreca, 2006) (Figura 3).

Figura 3. Bofedal (Fotos: K. Ustariz).

5. VALOR NUTRICIONAL

La producción ganadera es la actividad dominante de los pequeños agricultores que viven en el altiplano de Bolivia (Genin y Alzérreca, 2006). Los rebaños mixtos de camélidos y ovejas tienen la capacidad de utilizar adecuadamente el forraje disponible en la región debido a diferentes comportamientos de pastoreo (Genin y Tichit, 1997; Campero, 2004). Los camélidos consumen las proporciones más altas de pastos gruesos dominantes como *F. orthophylla* y *Stipa ichu*, mientras que las ovejas buscan plantas herbáceas más finas, que crecen principalmente debajo de los arbustos (Alzérreca, 2004).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 126 10-11-20 15:45

Las praderas altas y gruesas de *Stipa ichu* (paja brava) y *F. orthophylla* (iru ichu) son las especies dominantes en el altiplano de Bolivia. *F. orthophylla* cubre alrededor del 30% del altiplano central (Alzérreca y Lara, 1988; Monteiro *et al*., 2011) y es considerado por los pequeños agricultores como un forraje pobre, debido a su bajo valor nutritivo y su rugosidad (Genin *et al*., 1994; Zapata, 2005; Monteiro y Korner, 2013). La proteína bruta reportada para esta especie en materia seca varía de 2,3 a 7,6 % y tiene un contenido promedio de ceniza del 7,4% (Alzérreca y Cardozo, 1991; Genin y Alzérreca, 2006; Mamani-Linares *et al*., 2013; Ustariz *et al.*, 2019). *F. orthophylla* tiene una gran importancia en la agricultura, ya que a veces es el único forraje disponible para los rebaños en la región, especialmente durante la estación seca (Genin *et al*., 1994).

La segunda especie importante de este género en el altiplano es *F. dolichophylla* (chilliwa). Este pastizal es muy utilizado para el pastoreo de los ganados vacuno, ovino y camélido (Villca y Genin, 1995). El valor nutricional de esta especie se considera moderado con un contenido de proteína bruta en materia seca que oscila entre 3,7 y 7,7% y un contenido promedio de ceniza de 7,2% (Mamani, 2003; Alzérreca y Cardozo, 1991; Genin y Alzérreca, 2006; Mamani-Linares *et al.*, 2013).

El valor nutricional de *Festuca* contribuye a la producción, salud y fertilidad óptima en camélidos, bovinos y ovinos. La concentración de nutrientes, sin embargo, no solo está influenciada por las diferencias genéticas, sino que también depende del pH del suelo y la fertilidad, la especie forrajera, la etapa de madurez de la planta, la estación y el clima, el riego y los insumos atmosféricos (McDowell *et al*., 1996; Givens *et al*., 2000).

En un estudio realizado por Ustariz *et al*. (2019) donde se evaluó la composición mineral y el valor nutricional de 11 ecotipos de *Festuca* de la región andina de Bolivia, se pudo identificar candidatos para iniciar un programa de mejoramiento genético. Cuatro accesiones con elevado contenido en proteínas mostraron resultados similares a variedades comerciales de Argentina (*Festulolium* y *F. arundinacea cv. Taita)*. Las mismas accesiones mostraron, además, un alto contenido de Ca y Mg. Adicionalmente, dos accesiones se destacaron por su alto contenido de P.

6. DIVERSIDAD GENÉTICA

La diversidad genética en las plantas brinda la oportunidad a los fitomejoradores de desarrollar cultivares nuevos y mejorados con características deseables, que incluyan tanto caracteres preferidos por el agricultor

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 127 10-11-20 15:45

(e.g. potencial de rendimiento y semillas grandes) como caracteres preferidos por el fitomejorador (e.g. resistencia a patógenos y plagas). Desde el comienzo de la agricultura, la variabilidad genética natural ha sido explotada dentro de las especies de cultivos para satisfacer las necesidades alimentarias de subsistencia en poblaciones en crecimiento. Además, la conservación de los recursos fitogenéticos es importante para mejorar los cultivos con el fin de hacer frente a los retos mundiales futuros en relación con la seguridad alimentaria y nutricional (Govindaraj *et al*., 2015).

En la actualidad existe escasa información relacionada con la diversidad genética de especies del género *Festuca* originadas en América del Sur, incluida Bolivia. La prioridad ha sido dada a estudios de distribución geográfica, taxonomía (Mercado *et al*., 2013; Renvoize, 1998; Stancik *et al*., 2007), contenido nutricional (Merlo *et al*., 2018; Mamani, 2003; Mamani-Linares *et al*., 2013) y digestibilidad (Genin and Tichit, 1997).

Gracias a la colaboración entre investigadores de la Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia y la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, actualmente se viene realizando el estudio de análisis de la diversidad genética utilizando marcadores moleculares EST-SSR en poblaciones de *Festuca* de Bolivia. La información obtenida en dicho estudio brindará información valiosa para establecer estrategias de conservación que incluyan la identificación de "puntos calientes" (*hotspots*) de diversidad genética para la conservación *in situ* del género *Festuca* en Bolivia.

7. INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN

La importancia de conocer la diversidad genética en miras de desarrollar el mejoramiento genético y la estabilidad a largo plazo de los ecosistemas, da lugar a dos estrategias de conservación de los recursos genéticos. La conservación *ex situ* que incluye el almacenamiento en bancos de genes de las colecciones de germoplasma destinadas a representar mejor la diversidad genética, y la conservación *in situ* que incluye el mantenimiento de plantas en hábitats específicos (e.g. pastizales permanentes), lo que permite una adaptación evolutiva continua (Frankel *et al*., 1995; Maxted *et al*., 1997). Los factores ecológicos y las prácticas agrícolas han creado una vasta biodiversidad que solo se puede conservar protegiendo los hábitats y utilizando métodos de gestión cercanos a los que crearon esa diversidad (Peeters, 2004).

Los pastizales permanentes naturales o seminaturales albergan poblaciones de especies de *Festuca* que están altamente adaptados a sus hábitats,

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 128 10-11-20 15:45

mostrando variaciones para rasgos de importancia adaptativa como ser el hábito de crecimiento o resistencia a diversas enfermedades. En la actualidad, el banco de genes del Centro de Investigación en Forrajes-La Violeta, alberga una colección de germoplasma de *Festuca* spp. Asimismo, alberga el mismo germoplasma en el Centro Experimental Agropecuario Condoriri, ubicado en Oruro (Figura 4).

Figura 4. Parcelas de *Festuca* spp. en el Centro Experimental Agropecuario, Oruro (Foto: K. Ustariz).

8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

El forraje proveniente de los campos nativos de pastoreo constituye el pilar de la supervivencia de las sociedades andinas, las que desarrollaron prácticas y estrategias ganaderas para aprovechar estos recursos naturales. Actualmente la degradación de estos campos nativos que incluyen en su mayoría pastizales se encuentra en aumento como consecuencia del sobrepastoreo, el cambio climático, el avance en la frontera agrícola y las técnicas de manejo inadecuadas (e.g. quema no controlada).

El Centro de Investigación en Forrajes-La Violeta perteneciente a la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, Bolivia, viene

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 129 10-11-20 15:45

realizando, desde fines del 2015, diferentes investigaciones en el género *Festuca*. A la fecha se tienen implementadas parcelas experimentales de *Festuca* spp. en el Centro Experimental Agropecuario Condoriri perteneciente a la Universidad Técnica de Oruro. Dichas parcelas cuentan con 43 accesiones provenientes de los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí y Cochabamba y sirven como banco de genes *ex situ* para desarrollar otras investigaciones, como ser: estudios de rendimiento en producción de biomasa y semilla, estudios de preferencia de especies de *Festuca* por el ganado bovino y camélido, determinación de ploidía y determinación del porcentaje de infección de hongos endófitos en semillas.

Al ser el género *Festuca* considerado por los agricultores del Altiplano como una fuente forrajera importante, es vital generar mayor conocimiento científico, con el fin de establecer estrategias de conservación y un uso sostenible del forraje nativo en programas de mejoramiento genético en Bolivia.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alzérreca, H.; Lara, R. 1988. Evaluación de praderas nativas en el altiplano central y oeste del Departamento de Oruro. Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia. Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR). Oruro, Bolivia, pp. 3-11.

Alzérreca, H.; Cardozo, A. 1991. Valor de los Alimentos para la Ganadería Andina. Serie Técnica SR-CRSP/001. La Paz: IBTA, pp. 32-35.

Alzérreca, H. 2004. Campos Nativos de Pastoreo de Bolivia. In: Alzérreca H (ed) XV Reunión Nacional de Asociación Boliviana de Producción Animal (ABOPA), Oruro, Bolivia, pp. 217-229.

Campero, J.R. 2004. Llama (*Lama glama* L.) and Guanaco (*Lama guanicoe* M.): General perspective. In: Cardellino R, Rosati A, Mosconi C, editors. FAO-ICAR Seminar on camelids: Current Status of Genetic Resources, Recording and Production Systems in African, Asian and American Camelids, Sousse, Tunisia.

Frankel, O.H.; Brown, A.H.D.; Burdon, J.J. 1995. The conservation of plant biodiversity. Cambridge University Press, Cambridge

Geerts, S.; Raes, D.; García, M.; Del Castillo, C.; Buytaert, W. 2006. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. Agric For Meteor. 139: 399-412.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 130 10-11-20 15:45

Genin, D.; Villca, Z.; Abasto, P. 1994. Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitude-arid rangeland of Bolivia. J. Range Manage. 47: 245-248.

Genin, D.; Alzérreca, H. 2006. Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina. Science et changements planétaires/Sécheresse.17: 265-274.

Genin, D.; Tichit, M. 1997. Degradability of Andean range forages in llamas and sheep. Rangeland Ecology and Management. Journal of Range Management Archives. 50: 381-385

Givens, D.I.; Owen, E.; Omed, H.M.; RFE Axford. (2000) Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. CABI Publishing, Oxon, UK, pp 345-397.

Govindaraj, M.; Vetriventhan, M.; Srinivasan, M. 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. Genetics Research International.

Ibisch, P.L. 2005. Biodiversity conservation in Bolivia: History, trends and challenges. In Environmental Issues in Latin America and the Caribbean (pp. 55-71). Springer, Dordrecht.

Inda, L.A.; Segarra-Moragues, J.G.; Müller, J.; Peterson, P.M.; Catalán, P. 2008. Dated historical biogeography of the temperate Loliinae (Poaceae, Pooideae) grasses in the northern and southern hemispheres. Mol Phylogenet Evol., 46:932-957.

Jørgensen, P.M.; Nee, M.H.; Beck, S.G.; Arrázola, S.; Saldías, M. 2014. Catálogo de las plantas vasculares de Bolivia. Missouri Botanical Garden Press.

Mamani, C. 2003. Centro Experimental Agropecuario Condoriri. In: Meneses, R and Barrientos E (eds) Producción de Forrajes y Leguminosas en el Altiplano Boliviano. Resumen de experiencias en seis años de trabajo entre el Centro Experimental Agropecuario Condoriri e instituciones del Fundo Universitario "La Violeta", Proyecto AgroLeg (CIAT-CIF-CIFP-SEFO) Cochabamba, Bolivia, pp 137-141.

McDowell, L.R. 1996. Feeding minerals to cattle on pasture. Animal Feed Science and Technology. 60. 247-271.

Mamani-Linares, W.; Gallo, C.; Pulido, R. 2013. Composición botánica y contenido nutricional de pasturas nativas en periodo seco en el altiplano. Documento presentado en el XXXVIII Congreso Sociedad Chilena de Producción Animal. Libro de resúmenes. Instituto de Ciencia Animal, Facultad Ciencias veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 23-25 octubre 2013.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 131 10-11-20 15:45

Maxted, N.; Ford-Lloyd, B.V.; Hawkes, J.G. 1997. Plant genetic conservation: the in-situ approach. Chapman & Hall, London.

Meneses, R.I.; Mercado, M.; Delgado, D. 2012. *Festuca cochabambana.* In: Navarro G, Arrázola S, Atahuachi M, De La Barra N, Mercado M, editors. Libro Rojo de la Flora Amenazada de Bolivia. Vol. I. Zona Andina, Ministerio de Medio Ambiente y Agua. La Paz: Rumbol SRL; pp. 214-215.

Mercado, M.; Arrázola, S., Gutiérrez, F.; Ramírez, K.; Gonzales, J.; Atahuachi, M.; Vargas, N.J., Burgos, J.; Ovando, K.; Campos, H.; Achá, N. 2013. Guía ilustrada de especies forrajeras nativas de la zona andina en Bolivia. Proyecto conservación y manejo sostenible de la biodiversidad de los recursos genéticos forrajeros de la zona andina de Bolivia. UMSS – FCAPFyV – FcyT – CISTEL – BASFOR – CBG – CIUF-CUD, Cochabamba, Bolivia, 192 pp.

Merlo, F.E., Ku, J.C., Condori, R., Pérez, L.; Albarracín, A. 2018. Efecto de la edad y época de año sobre el rendimiento y composición química del pastizal chilliwar *Festuca dolychophylla* en Tiahuanaco, Bolivia. In: Meneses R (ed) XXII Reunión Nacional de Asociación Boliviana de Producción Animal (ABOPA), Santa Cruz, Bolivia, 11-13 octubre, 2018.

Monteiro, J.A.F., Hiltbrunner, E.; Körner, C. 2011. Functional morphology and microclimate of *Festuca orthophylla*, the dominant tall tussock grass in the Andean Altiplano. J Flora-Morphol Distrib Funct Ecol Plant. 206: 387-396.

Monteiro, J.A.F., Körner, C. 2013. Leaf turnover and herbivory in the tall tussock grass *Festuca orthophylla* in the Andean altiplano. Alpine Botany. 123: 13-20.

Moraes, M., Beck, S. 1992. Diversidad florística de Bolivia. In: Marconi M. (ed): Conservación de la Diversidad Biológica en Bolivia. Centro de datos para la conservación, Bolivia, USAID, La Paz, Bolivia.

Peeters, A. 2004. Wild and sown grasses. Blackwell Pub, Rome.

Renvoize, S.A. 1998. Gramíneas de Bolivia. Royal Botanic Gardens Kew, doi: 10.1111/j.1756-1051. 1998.tb01891.

Stancik, D.; Peterson, P.M. 2007. A revision of Festuca (Poaceae: Loliinae) in South American Paramos. Contributions from the United States National Herbarium.

Smyth, G.K. 2005. Limma: linear models for microarray data. In: Gentleman R, Stammers M, Harris J, Evans GM, Hayward MD, Forster JW (1995) Use of random PCR (RAPD) technology to analyze phylogenetic relationships in the *Lolium/Festuca* complex. Heredity 74: 19-27.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 132 10-11-20 15:45

Ustariz, K., Geleta, M.; Hovmalm, H.P.; Gutiérrez, F.; Beltrán, J.A.R.; Ortiz, R. 2019. Mineral composition and nutritive value of *Festuca* ecotypes originated from the highland region of Bolivia and cultivars from Argentina. Australian Journal of Crop Science, 13(10), 1650.

Villca, Z.; Genin, D. 1995. Uso de los recursos forrajeros por llamas y ovinos. Comportamiento alimenticio. In: Genin D. Picth H-J, Lizarazu R, Rodriguez T (eds) Rev. WAIRA PAMPA. Un sistema pastoril camélidos-ovinos del altiplano árido boliviano. ORSTOM. CONPAC-Oruro-IBTA, La Paz, Bolivia, pp. 117-130.

Wheeler, J.C. 1991. Origen, Evolución y status actual. In: Fernández-Baca S (ed) Advances and Perspectives in the Knowledge of the South American Camelids FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, Santiago, Chile, pp. 11-48.

Yamada, T. 2011. Festuca. In Wild crop relatives: genomic and breeding resources Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 153-164.

Zapata A (2005) Las forrajeras nativas preferidas por los camélidos. Rev Suma Tama. 1: 1-20.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 133 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 134 10-11-20 15:45

MAÍZ "LLUTEÑO": VALORIZACIÓN DE UN RECURSO FITOGENÉTICO DE INTERÉS AGRÍCOLA EN EL VALLE DE LLUTA, NORTE DE CHILE

Elizabeth Bastías M.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 135 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 136 10-11-20 15:45

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales utilizados por el hombre desde épocas remotas y una de las especies vegetales más productivas, considerando tanto su producción global –cerca de 600 millones de toneladas por año– como su productividad –más de 4 t ha^{-1}. Su centro de origen se ha situado en México desde donde se difundió a todo el mundo después del primer viaje de Cristóbal Colón a fines del siglo XV. Su cultivo se difundió más rápidamente hacia las zonas templadas, en donde su actividad representa cerca del 40% del área cosechada y el 60% de la producción mundial. El promedio del rendimiento en las condiciones templadas es significativamente superior al de las áreas tropicales. Sin embargo, el maíz en las zonas templadas tiene un ciclo más largo que la mayoría de los maíces cultivados en las zonas tropicales (Paliwal, 2001).

La diversidad de ambientes en los que el maíz se cultiva es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. A pesar de haberse originado y evolucionado en la zona tropical como una planta de excelentes rendimientos, hoy se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile. La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero se cultiva también por debajo del nivel del mar en las planicies del Caspio y hasta los 3.800 msnm en la cordillera de los Andes. Más aún, el cultivo continúa expandiéndose a nuevas áreas y a nuevos ambientes (FAO, 2001).

El maíz es una planta que tiene múltiples usos y que puede ser utilizada en varias etapas de su desarrollo desde las mazorcas muy jóvenes –maíz *baby*–, pasando por las mazorcas verdes tiernas hasta los granos ya maduros. Se estima que la población mundial –actualmente cerca de 6.000 millones de habitantes– alcanzará los 8.000 millones en el 2030, lo que representa un incremento de 2.000 millones de habitantes que tendrá lugar mayoritariamente en los países en desarrollo. No hay dudas de que el maíz tropical continuará teniendo un papel muy importante en la alimentación de esta población en aumento y es evidente que la demanda del maíz continuará aumentando en el futuro. Así, la FAO estima que serán necesarias 60 millones de toneladas adicionales para el 2030. Además, debido a que

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 137 10-11-20 15:45

se espera que el nivel de vida continúe aumentando, sobre todo en muchos países asiáticos, la demanda de maíz como alimento animal también presentará una alta tasa de crecimiento. En este sentido, la FAO estima que la demanda de maíz para alimentación animal aumentará de los 165 millones de toneladas actuales a casi 400 millones en el 2030, o sea un aumento de 235 millones de toneladas (140%). Ciertamente el gran desafío será producir esos 295 millones de toneladas adicionales que serán necesarias para cubrir tanto las necesidades de consumo humano como animal. En muchos países será difícil aumentar el área cultivada y el incremento en la producción de maíz tendrá, por tanto, que basarse en un aumento de la productividad y en la intensificación del número de cultivos anuales (Paliwal, 2001).

El maíz cultivado es una planta completamente domesticada. El hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde tiempos remotos. El maíz no crece de forma silvestre y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre para su crecimiento, desarrollo y finalmente obtener una producción rentable (Wilkes, 1985; Galinat, 1988; Dowswell *y cols.,* 1996). Fue el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma actual de cultivo, así como se pone en evidencia en la bien documentada historia del maíz híbrido en Estados Unidos de América y, posteriormente, en Europa. Hoy el maíz es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea, y es el segundo, después del trigo, en producción total, siendo el tercero el arroz. El maíz es un cultivo de gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (FAO, 2001).

Origen

La especie *Zea mays* pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Otras especies del género *Zea,* comúnmente llamadas teosinte y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas silvestres, parientes de *Zea mays.* Son clasificadas como del *Nuevo Mundo* porque su centro de origen está en América. El maíz deriva del teosinte por medio de mutaciones y por selección natural fue obtenido por los primeros agricultores fitomejoradores. Actualmente se acepta la hipótesis de Beadley de que el teosinte es el antecesor silvestre o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 138 10-11-20 15:45

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen (FAO, 2001).

Aunque se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del maíz, todavía hay discrepancias respecto de los detalles de su origen. Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores hace 7.000-10.000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México, donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas con más de 5.000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1985; Wilkes y Goodman, 1995). Las diferentes teorías relacionadas con el centro de origen del maíz se refieren a un origen andino y a un origen mexicano.

Origen andino

Según esta teoría el maíz se habría originado en los altos Andes de Bolivia, Ecuador y Perú (Mangelsdorf y Reeves, 1959). La principal justificación para esta hipótesis fue la presencia de maíz con grano duro o reventón en América del Sur y la amplia diversidad genética presente en los maíces andinos, especialmente en las zonas altas de Perú. Una seria objeción a esta hipótesis es que no se ha encontrado ningún pariente silvestre del maíz (incluyendo teosinte) en esa región (Wilkes, 1989). En los últimos años, Mangelsdorf ha descartado la hipótesis del origen andino.

Origen mexicano

Muchos investigadores creen que el maíz se habría originado en México donde el maíz y el teosinte han coexistido desde la Antigüedad y donde ambas especies presentan una diversidad muy amplia (Wheatherwax, 1955; Iltis, 1983; Wilkes, 1985; Galinat, 1988). El hallazgo de polen fósil y de mazorcas de maíz en cuevas en zonas arqueológicas apoya seriamente la posibilidad de que el maíz se haya originado en México. No obstante, el debate respecto del origen del maíz todavía continúa. El comprender este problema no es solo un aspecto de interés meramente académico, sino que sería importante para promover programas de mejora y para la transferencia de caracteres deseables de especies silvestres afines y cultivares locales en la evolución y el continuo mejoramiento del maíz.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 139 10-11-20 15:45

Características del valle de Lluta: zona productora del maíz "lluteño"

Localización

El valle de Lluta es el valle más septentrional de Chile. Su superficie agrícola es de, aproximadamente, 4.807 ha, y se ubica en la hoya del río del mismo nombre que se extiende entre los 17º 40' y los 18º 25' de latitud sur. y entre los 69º 22' y 70º 20' de latitud oeste. Abarca en total una cuenca de drenaje de 3.378 km^2.

La región se caracteriza por un relieve accidentado, ya que en una longitud de menos de 200 km se unen las alturas de la precordillera cercanas a los 4.000 msnm con la costa. Los tramos bajos de estos valles se abren como nichos de vegetación en un ambiente completamente desértico. El valle de Lluta es extremadamente largo, con cerca de 150 km de longitud y su extensa hoya hidrográfica se alimenta de múltiples recursos acuíferos principalmente en las faldas de volcanes azufreros como el Tacora. Esto no solo da como resultado la disponibilidad permanente de agua para los tramos medios y bajos, rodeados de desierto absoluto, sino que le confiere además una alta salobridad y presencia de minerales pesados como arsénico y B, que limitan en gran medida su vegetación.

El sector fértil del valle se extiende desde la angostura de Churiña a unos 950 msnm, hasta Morro Negro a 10 km de la costa. Comprende el sector más ancho del valle limitado por laderas altas y arenosas con frecuentes terrazas sobre el río. Las presiones demográficas internas y externas junto con el desarrollo de nuevas técnicas agrícolas motivaron el establecimiento humano en espacios antes improductivos como el valle de Lluta (Torres y Jiménez, 1999).

Clima

El clima de este valle está influido fuertemente por el régimen costero de nubosidad baja ("camanchaca"), alta radiación y temperaturas cálidas, libres de heladas. La precipitación se concentra en el área superior de la cordillera de los Andes, con una altitud de 4.000-5.000 m. El clima se encuentra sometido a las condiciones características de un clima desértico. En este valle es posible distinguir dos topologías: el espacio climático definido como Desierto Costero con nubosidad abundante (BWn) y el espacio climático Desierto Normal (BW) (IREN, 1975).

El primer espacio es el más importante, donde se desarrolla el mayor porcentaje de sistemas productivos agrícolas, con ausencia de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 140 10-11-20 15:45

precipitaciones, alta humedad relativa, nubosidad abundante y una oscilación térmica de escasa amplitud. La presencia de alta humedad relativa es más evidente durante las horas de oscuridad, denominándose como "camanchaca" o neblina nocturna de tipo costero, y que llegan a alcanzar hasta unos 30 km hacia el interior del valle. El nivel de precipitaciones es casi nulo, con valores anuales del orden de 1,1 mm. La zona litoral o Lluta 1, lugar de procedencia de las semillas para este estudio, tiene un clima que permitiría explotar una amplia gama de cultivos, libre de precipitaciones y de heladas y con temperaturas entre 24 ºC y 26 ºC durante los meses más cálidos, con una escasa oscilación térmica que hace mínimo el periodo de recesión vegetativa debido a la moderación de las temperaturas.

Agricultura

El suelo cultivable y el agua de riego del valle de Lluta se caracterizan por contener altos contenidos de sal y B (Bañuelos *y cols*., 1999). En la Tabla 1 se presenta la conductividad eléctrica (CE) y los niveles de Na^+ y B presentes en el suelo y en el agua de riego. Estos valores de CE son alrededor de 7 veces mayores a los valores descritos, en general, para los cultivos, y el contenido de Na^+ y B es entre 4 y 6 veces mayor a los valores de referencia para los diferentes cultivos (Mamani *y cols*., 1998). De ahí que las características edáficas de este valle hayan limitado la diversificación de los cultivos, seleccionándose de forma tradicional por los agricultores locales aquellos ecotipos capaces de tolerar un exceso de B o salinidad. Este es el caso del maíz "lluteño" (*Zea mays* L. amylacea), una variedad de maíz dulce que ha surgido entre otros cultivos locales en el valle de Lluta, como consecuencia de las prácticas de selección natural de semillas, desde que se comenzó a utilizar el riego en la región, antes de la llegada de los españoles en el siglo XVI (Ferreyra *y cols.*, 1997).

Tabla 1. Análisis de agua y suelo del valle de Lluta.

Análisis	Agua	Suelo
CE (dS m^{-1})	3,46	6,83
Sodio (mg l^{-1})	474,88	434,32
Boro (mg l^{-1})	24,09	27,21

Fuente: Mamani y cols. (1998).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 141 10-11-20 15:45

Descripción de la planta y mazorca

El maíz "lluteño" es clasificado entre los tipos amiláceo teniendo un ciclo de crecimiento que se extiende entre 160 y 190 días, ya sea para consumo fresco o semilla, respectivamente (Pacheco, 1970). La planta se caracteriza por alcanzar hasta los 4 m de altura en el sector alto del valle donde se presentan mejores condiciones de suelo y agua para el desarrollo de los cultivos. En estado productivo logra desarrollar hasta 2 mazorcas de tamaño medio, de forma cónica y con 10 a 14 hileras de granos grandes, blanquecinos, dulces y de textura especial, cualidades que lo hacen diferente de otras variedades de maíz existentes en la zona y el país.

1. REVALORIZACIÓN Y PROTECCIÓN

Revalorización del maíz "lluteño"

El caso del maíz "lluteño" es un claro ejemplo de la importancia actual del uso de germoplasmas nativos en regiones con suelos y aguas marginales. Este maíz, considerada una especie con valor patrimonial es cultivado en el valle de Lluta, una zona con características agroecológicas especiales donde la alta salinidad de sus suelos y agua de riego, además del exceso de B, requiere del uso de especies tolerantes o adaptadas a esta condición.

Si bien este maíz fue investigado en los años 70, no se observó un mayor impacto en la optimización de su producción. A partir del 2010 surge la idea de revalorizarlo, protegerlo y mejorar su producción, considerando sus características únicas de tolerancia a diferentes estreses ambientales. El 2011 comienza la ejecución del proyecto de Innovación Precompetitiva de Bienes Públicos (financiado por INNOVA-CORFO) que tuvo como objetivo principal establecer un mejoramiento del manejo agronómico y productivo de este maíz, en concordancia con las prácticas agrícolas ancestrales, y su protección por medio de la obtención de la Indicación Geográfica ante el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI).

Este proyecto, que involucró un trabajo multidisciplinario de profesionales y colaboradores, permitió conocer la relación histórica y cultural del maíz en el valle de Lluta con resultados plasmados en el libro *Historia de los cultivos del maíz en un valle salado, norte de Chile*, donde sus autores dan a conocer las características geográficas del valle, los antecedentes arqueológicos recopilados en torno al maíz en este valle salado, y su

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 142 10-11-20 15:45

importancia en la cultura andina regional, información que fue orientada hacia los agricultores y público en general con la finalidad de visualizar y valorizar un recurso fitogenético local.

Desde el punto de vista agronómico, las propuestas evaluadas en campo permitieron obtener un aumento de los rendimientos, sugiriendo al agricultor un manejo sustentable compatible con las prácticas tradicionales utilizadas por años en el valle. Este manejo fue observado por el agricultor mediante el establecimiento de parcelas demostrativas, en diferentes sectores del valle donde se realizaron actividades de difusión y la entrega de un manual de manejo agronómico con las recomendaciones necesarias para mejorar la productividad del cultivo.

Se estimó la concentración de azúcares solubles totales de la materia seca de las hojas y tallos corroborando lo planteado por Bastías *et al*. (2011) respecto de la posibilidad de diversificar la producción de este maíz mediante la elaboración de bioetanol a partir de la biomasa de desecho del cultivo (sin incluir mazorca y granos). Los resultados de las evaluaciones realizadas el 2013, en muestras extraídas de las parcelas demostrativas del proyecto, alcanzaron 89,28 gal/t promedio de materia seca de rastrojo, cercanos a 95,3 gal/t mencionados por Bastías *et al.* (2011), lo que representa una buena posibilidad y perspectivas para el uso de los residuos del cultivo que en la actualidad son mayormente desechados o quemados.

Protección de un cultivo con valor patrimonial

A partir de los años 90, y con la confianza generada con el equipo de trabajo liderado por la investigadora Elizabeth Bastías Marín, los agricultores del valle de Lluta manifestaron su preocupación por la introducción de las nuevas variedades de maíz híbrido consideradas una amenaza para la conservación de su cultivo tradicional, el maíz "lluteño", surgiendo la inquietud de buscar alternativas para su protección. Esta problemática se incorpora dentro de los objetivos e hitos del proyecto mencionado, con el fin de lograr la protección del cultivo mediante la elaboración del expediente y la solicitud de su Indicación Geográfica (IG) ante el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI-Chile), que sería concedida el 2015 como la primera Indicación Geográfica para la región de Arica y Parinacota tras un largo proceso de recopilación de información referente al cultivo, su manejo agronómico, los antecedentes históricos, las evaluaciones químicas y fisiológicas de la planta y su entorno, los análisis nutricionales, las encuestas de preferencia y el acuerdo con los agricultores para la

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 143 10-11-20 15:45

elaboración del manual de uso y control de esta IG. Toda esta información, y en especial los antecedentes respecto de su reconocimiento y reputación por el consumidor sirvieron de respaldo para que INAPI y ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) dieran el visto bueno a la protección de este cultivo en la zona geográfica delimitada por el valle de Lluta y otorgaran a este cultivo ancestral su sello de origen como reconocimiento a un producto único y diferenciado gracias a sus particularidades de sabor y color.

2. INVESTIGACIÓN

Interacción entre salinidad y exceso de B: caso del maíz "lluteño" (Zea mays L. *amylacea) del hiperárido desierto de Atacama*

Tolerancia del maíz a la salinidad y al B

El maíz es un cultivo muy sensible a la salinidad, siendo severamente afectado incluso a bajas concentraciones de sal (Mass *y cols*., 1983). El umbral para la reducción del crecimiento se estima en cerca de 1,7 mS cm^{-1}, con una pérdida de 10% del rendimiento en suelos en la que su conductividad eléctrica supera los 2,5 mS cm^{-1} (Cramer, 1994). La respuesta del maíz a la salinidad, como en la mayoría de las especies, varía dependiendo del estado de desarrollo (Kaddah y Ghowail, 1964; Mass *y cols*., 1983; Pasternak *y cols*., 1985; Fortmeier y Schubert, 1995). La fase de crecimiento vegetativo parece ser más sensible a la salinidad, mientras que los estados tardíos se ven menos afectados (Cramer, 1994).

El maíz puede excluir Na^+, pero se ha observado una gran diferencia en la capacidad de excluir este elemento entre los diferentes cultivares o genotipos, lo que permite que existan variedades que expresan un alta tolerancia a salinidad (Gorham *y cols*., 1985). El exceso de salinidad y B constituyen dos fuentes de estrés frecuentemente asociados a ambientes áridos y semiáridos, como es la zona de origen del maíz en estudio (Alpaslan y Gunes, 2001; Sternberg *y cols*., 2001; Läuchli, 2002).

El B es un microelemento esencial para el desarrollo de las plantas, pero el rango entre la concentración deficiente y de toxicidad de este elemento es muy estrecho. Hoy por hoy, el mecanismo en la entrada de B en las plantas en condiciones no salinas y de salinidad no está bien comprendido. La absorción y translocación de B por difusión pasiva puede ser inhibida por la disminución de la tasa de transpiración

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 144 10-11-20 15:45

en condiciones salinas (Grieve y Poss, 2000). Hasta el momento, no hay mucha información acerca de la interacción entre estos dos elementos, B y NaCl, pero generalmente se piensa que pueden operar independientemente (Holloway y Alston, 1992). En otros casos, cuando una planta es sometida a condiciones de estrés causadas por un exceso de B en presencia de estrés hídrico o salino, el estrés se acentúa, dando lugar a una gran reducción de la productividad (Ben-Gal y Shani, 2002). En este sentido, otros autores también señalan que la salinidad agrava los síntomas de toxicidad por el B en algunas especies de plantas, a veces acompañada por un incremento de la concentración total de B en los brotes (Grieve y Poss, 2000). Por el contrario, se ha descrito que una baja acumulación neta de B en genotipos tolerantes es el resultado de una baja tasa en la entrada pasiva de B, similarmente a lo que ocurre en genotipos tolerantes a la salinidad (Nable, 1988). Confirmando en parte esta aseveración, se ha descrito que plantas como el tomate, que excluyen sales, son más resistentes a la toxicidad de B que las plantas sensibles a la salinidad, como es el caso del pepino de ensalada. Si esto es así, el mecanismo de exclusión de la sal parece también controlar la excesiva entrada de B a las células (Alpaslan y Gunes, 2001).

El comprender los mecanismos fisiológicos por los que las plantas de cultivo evitan la toxicidad de B en condiciones de alta salinidad, es esencial para el manejo más eficiente en cualquier programa agrícola (Wimmer *y cols*., 2003). En este sentido, podemos destacar que se han realizado pocos estudios con germoplasmas nativos de áreas enriquecidas en salinidad y B. Además, se han encontrado diferencias significativas en la acumulación de Na^+ y B entre germoplasmas de maíz nativos del valle de San Joaquín en California y del norte de Chile. Las especies originarias de California mostraban síntomas de toxicidad de B más severos, posiblemente porque acumulaban altos niveles de ambos elementos en los tejidos (Ferreyra *y cols*, 1997; Bañuelos *y cols*., 1999).

Los resultados presentados de este capítulo de libro se han realizado bajo condiciones controladas, cultivando las plantas en macetas y contenedores en invernadero o cámara de crecimiento, como una primera aproximación metodológica para conocer los mecanismos y las bases fisiológicas de la respuesta del ecotipo amylacea en condiciones de estrés salino y presencia de exceso de B. Estos resultados son el marco referencial para el desarrollo de trabajos posteriores, que permitirán profundizar en otros aspectos de la fisiología, crecimiento y desarrollo en condiciones naturales de crecimiento en campo, lo que supone un gran reto debido a la inmensa cantidad de factores que influyen respecto de un cultivo, pero

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 145 10-11-20 15:45

supondrá una primera aproximación al funcionamiento de la planta en condiciones de estrés.

Parámetros de crecimiento

La tolerancia a la salinidad en plantas cultivadas se evalúa habitualmente como la reducción del porcentaje de producción de biomasa en condiciones salinas durante un periodo prolongado. Por ejemplo, después de un tiempo de exposición a 200 m*M* NaCl, una especie tolerante a la salinidad tal como la remolacha azucarera puede tener una reducción de solo 20% en peso seco, mientras que una especie moderadamente tolerante, como el algodón, puede tener una reducción del 60%, y una especie sensible como la soya no sobrevivirá a esta concentración de NaCl (Greenway y Munns, 1980).

El crecimiento o la supervivencia de la planta en un suelo salino suponen un coste metabólico que se ve reflejado en términos globales en un menor crecimiento y menor productividad del cultivo. El coste metabólico del mantenimiento de la homeostasis hídrica e iónica viene dado por el coste a nivel celular de varios procesos, entre los que se encuentran los mecanismos de exclusión de sales del medio citoplasmático, la compartimentación celular de las sales en la vacuola y la síntesis de solutos orgánicos compatibles para realizar el ajuste osmótico.

Los cambios en la biomasa, bien en el peso seco (PS) o peso fresco (PF), son ampliamente utilizados como parámetros para determinar la sensibilidad al NaCl. Los niveles de B aplicados, que se consideran tóxicos para muchos cultivos (20 y 40 mg B kg^{-1}), no alteraron el crecimiento de este cultivar de maíz. En condiciones no salinas, el peso seco y el área foliar no difieren significativamente con la aplicación extra de solo B, e incluso la altura de la planta fue ligeramente estimulada. La biomasa de la planta completa expresada en términos de peso seco (Figura 1a), altura de la planta (Figura 1b), y área foliar (Figura 1c), disminuyeron en presencia de NaCl a los 20 días de tratamiento. La magnitud de la respuesta de los parámetros biométricos estudiados fue diferente, siendo los efectos en el peso seco y el área foliar los más destacados, si bien la diferencia de crecimiento entre las plantas crecidas a 100 y 430 m*M* de NaCl no fue estadísticamente significativa. La altura de las plantas se vio levemente reducida en condiciones de salinidad (alrededor de 15%, Figura 1b), mientras que se observó una mayor reducción en la producción de materia seca (40%, Figura 1a) y en el área foliar (50%, Figura 1c). Cuando se analizó la biomasa de los diferentes órganos, hoja, tallo

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 146 10-11-20 15:45

y raíz, en condiciones de alta salinidad, se observó una significativa reducción de la materia seca en la parte aérea, en torno al 50% tanto en la biomasa foliar como en la del tallo (Tabla 2), a la vez que se observó una menor reducción del peso seco en la raíz, en torno al 30%. A 100 m*M* de NaCl se ven similarmente afectadas la raíz y la parte aérea; de hecho los valores de la relación raíz/parte aérea permanecen constantes. En condiciones de alta salinidad (430 m*M* de NaCl) aumentó notoriamente la relación raíz/parte aérea, ya que el crecimiento de la parte aérea se vio más afectado que el de la raíz.

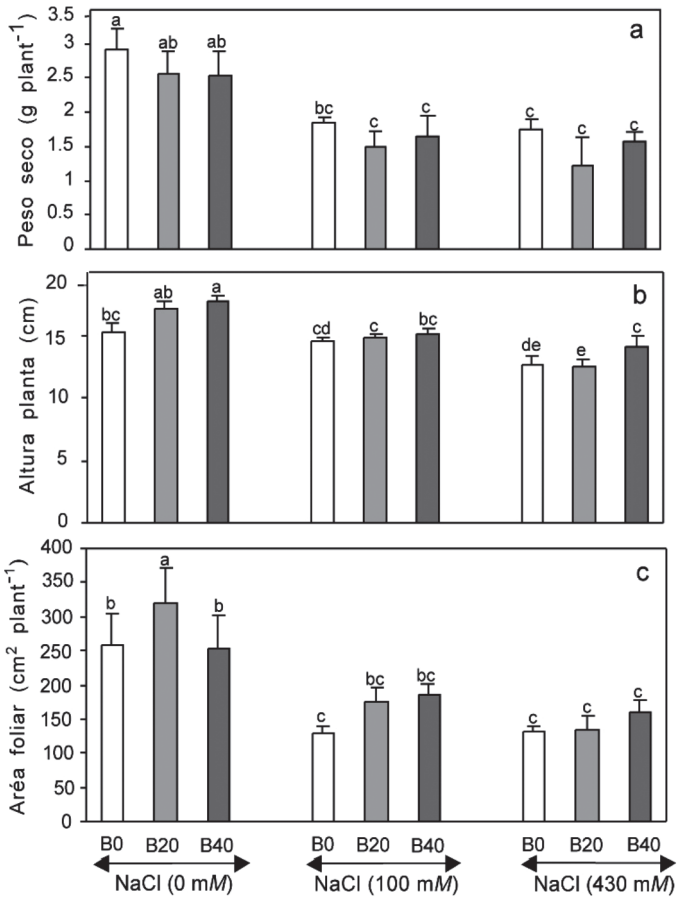

Figura 1. Peso seco (a), altura de la planta (b) y área foliar (c) de *Zea mays* L. *amylacea* después de 20 días de tratamiento con NaCl (0 mM; 100 mM; 430 mM) y H_3BO_3 (B0, control; B20, 20 mg kg^{-1}; B40, 40 mg kg^{-1}). Los valores representan la media ± SE de tres experimentos independientes. Las barras con letras iguales no son significativamente diferentes de acuerdo con LSD a un nivel de significación $P < 0,05$.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 147 10-11-20 15:45

De acuerdo con la respuesta de los parámetros biométricos (Figura 1), el cultivar de maíz amylacea se muestra como el más tolerante de todos los cultivares de maíz descritos, entre los que se encuentran variedades tolerantes a la salinidad en el rango de 100-150 mM NaCl, como el híbrido Pioneer 3578 (Cramer *y cols*., 1994), la línea Giza 2 (Abd-El Baki *y cols*., 2000), el cultivar SRO73 (Shabala *y cols*., 1998) y el genotipo BR5033 (Azevedo-Neto *y cols.,* 2004). Estos cultivares de maíz han sido descritos como tolerantes al estrés salino cuando se exponen durante un largo periodo de estrés, sin embargo, muestran una reducción de la materia seca mayor del 50% en condiciones de salinidad mediana (100-200 m*M* NaCl), mientras que en el cultivar amylacea la reducción máxima de materia seca total fue del 40% en condiciones de severa salinidad (430 m*M* NaCl).

El área foliar fue el parámetro de crecimiento más sensible a la salinidad, al igual que ocurrió en plantas de pimiento (Hoffman *y cols*., 1980) y en 2 cultivares de tomate (Alarcón *y cols*., 1993), así como en el cultivar Romsum HS90 de girasol (Rivelli *y cols.,* 2002). Eso significaba una reducción de la superficie fotosintética.

Respecto del peso seco de cada órgano de la planta (Tabla 1), la raíz fue el órgano principalmente afectado en condiciones de baja salinidad. La biomasa de la hoja y tallo fueron afectadas solo en condiciones de alta salinidad, mientras que la biomasa de raíz se vio menos afectada, manteniendo la misma inhibición que la observada a baja salinidad. El aumento en la relación raíz/parte aérea con la alta salinidad podría indicar una mayor adaptación del ecotipo amylacea al medio salino, si se tiene en cuenta su capacidad para mantener el desarrollo del sistema radicular en estas condiciones de estrés salino. Un comportamiento similar ha sido observado en los cultivares de tomate PE-62 y New-Yorker (Alarcón *y cols.,* 1993). Por tanto, el crecimiento de la parte aérea se ve más afectado, indicando así una mayor sensibilidad a la salinidad que el crecimiento de la raíz (Munns y Termaat, 1986; Shabala *y cols*., 1998). Es de destacar, además, la gran capacidad de este cultivar para acumular altos contenidos de Na^+ en el tejido foliar, sin que ello implique una mayor reducción del crecimiento (Bastías *et al*., 2005). De esta manera la mayor reducción del área foliar y del peso seco se observó cuando el contenido de Na^+ en el tejido foliar fue de 0,3%, y se mantuvo esta reducción hasta concentraciones de 1,1% de Na^+. Una respuesta similar ha sido observada en el cv SR073 de maíz, tolerante a la salinidad, pero en un rango de concentraciones de salinidad bastante menor, entre 20 a 170 m*M* de NaCl (Shabala *y cols*., 1998).

En general, los resultados aquí expuestos podrían estar de acuerdo con lo descrito por diferentes autores, quienes indican que la reducción

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 148 10-11-20 15:45

del peso seco en los tejidos de la planta podría reflejar un aumento del coste energético metabólico asociado a la adaptación a salinidad a costa de una reducción de la inversión de carbohidratos en la formación de nuevas estructuras y en el crecimiento (Richardson y McCree, 1985;

Figura 2. Cultivo de maíz "lluteño" en plena etapa de crecimiento vegetativo (Foto: E. Bastías).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 149 10-11-20 15:45

Netondo *y cols*. 2004a). Además, esta reducción del peso seco de la planta puede reflejar el impacto de la sal en los tejidos (Greenway y Munns, 1980), la reducción de la tasa fotosintética por unidad de área foliar (McCree, 1986; Netondo *y cols*. 2004b), y la deficiencia de los tejidos para tolerar una alta concentración de sal en una hoja totalmente expandida (Munns y Termaat, 1986).

Asimismo, acerca de los efectos de la interacción de la salinidad y exceso de B en todos los parámetros de crecimiento, se observó que estos no eran, en general, diferentes a los medidos en condiciones de salinidad solamente. Por tanto, se puede decir que son las condiciones de salinidad las que verdaderamente limitan el crecimiento de este ecotipo.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd-El Baki, G.K.; Siefritz, F.; Man, H.M.; Weiner, H.; Kaldenhoff, R.; Kaiser, W.M. 2000. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. Plant, Cell and Environment 23: 515-521.

Alarcón, J.J.; Sánchez-Blanco, M.J.; Bolarin, M.C.; Torrecillas, A. 1993. Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennellii* during short-term salt exposure and recovery. Physiology Plantarum 89: 441-447.

Alpaslan, M.; Gunes, A. 2001. Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. Plant and Soil 236: 123-128.

Azevedo Neto, A.D.; Prisco, J.T.; Eneas-Filho, J.; De Lacerda, C.F.; Silva, J.V.; A Netondo, G.W.; Onyango, J.C.; Beck ,E. 2004a. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Science 44: 797-805.

Bañuelos, G.S.; Ajwa, H.A.; Cáceres, L.; Dyer, D. 1999. Germination responses and boron accumulation in germplasm from Chile and United States grown with boron-enriched water. Ecotoxicology Environmental Safety 43: 62-67.

Bastías, E. 2005. Interacción del boro en la tolerancia a la salinidad de *Zea mays* L. amilácea originario del valle de Lluta (Arica-Chile). Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. España, 314 p.

Bastías, E.; Díaz, M.; Pacheco, P.; Bustos, R.; Hurtado, E. 2011. Caracterización del maíz "lluteño" (*Zea mays* L. tipo amylacea) proveniente del norte de Chile, tolerante a NaCl y exceso de boro, como una alternativa para la producción de bioenergía. Idesia 29(3): 7-16.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 150 10-11-20 15:45

Ben-Gal, A.; Shani, U. 2002. Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. Plant and Soil 247: 211-221.

Cramer, G.R. 1994. Response of maize (*Zea ma*ys L.) to salinity. In: M. Passarakli (Ed.). Handbook of Plant and Crop Stress. New York: Marcel Dekker. pp: 449-459.

Dowswell, C.D; Paliwal, R.L.; Cantrell, R.P. 1996. Maize in the third world. Boulder, CO, USA, Westview Press Inc. pp: 228.

FAO, 2001. El maíz en los Trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma-Italia 100p.

Ferreyra, R.E.; Aljaro, A.U., Ruiz, R.Sch.; Rojas, L.; Oster, J.D. 1997. Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high boron concentrations. Agronomic Water Manage 34: 111-124.

Fortmeier, R.; Schubert, S. 1995. Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): the role of sodium exclusion. Plant, Cell and Environmental 18: 1041-1047.

Galinat, W.C.1988. The origin of corn. In: Corn and Corn Improvement, G.F. Sprague & J.W. Dudley, (eds.) Madison, WI, USA, American Society of Agronomy, pp: 1-31.

Ghorham, J.; WynJones, R.G.; Mc Donnell, E. 1985. Some mechanisms of salt tolerante in crop plants. Plant and Soil 89: 15-40.

Greenway, H.; Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology 32: 149–190.

Grieve, C.M.; Poss, J.A. 2000. Wheat response to interactive effects of boron and salinity. Journal of Plant Nutrition 23: 1217-1226.

Holloway, R.E., Alston, A.M. 1992. The effects of salt and boron on growth of wheat. Australian Journal of Agricultural Research 43: 987-1001.

Iltis, H.H. 1983. From Teosinte to Maize: the catastrophic sexual transmutation. Science 222: 886-894.

IREN. 1975. Inventario de Recursos Naturales, por método de percepción del satélite Lansat I. I Región Tarapacá. 200 p.

Kaddah, M.T.; Ghowail, S.I. 1964. Salinity effects on the growth of corn at different stages of development. Agronomy Journal 56:214-217.

Läuchli, A. 2002. Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. Plant Biology 4: 190-192.

Mamani, R.; Doussoulin, E.; Serri, H. 1998. Respuesta del algodonero (*Gossypium barbadense* L.) a los factores nitrógeno, densidad de plantación y carga de agua para lixiviación de sales, en el valle de Lluta. IDESIA 15: 49-58.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 151 10-11-20 15:45

Mangelsdorf, P.C.; Reeves, R.G. 1959. The Origin of Corn. III. Modern races, the product of teosinte introgression. Bulletin Museum Leaflet, Harvad of University 18: 389-411.

Mass, E.V.; Hoffmann, G.J.; Chaba, G.D.; Poss, J.A., Shanon, M.C. 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages. Irrigation Science 4: 45-57.

Munns, R.; Termaat, A. 1986. Whole plant response to salinity. Australian Journal of Plant Physiology 13: 143-160.

Nable, R.O. 1988. Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: A preliminary examination of the resistance mechanism. Plant and Soil 112: 45-57.

Netondo, G.W.; Onyango, J.C.; Beck, E. 2004a. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Science 44: 797-805.

Netondo, G.W.; Onyango, J.C.; Beck, E. 2004b. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Science 44: 806-811.

Pacheco, J.F. 1970. Antecedentes para el mejoramiento del maíz (*Zea mays* L. amylacea) en el valle de Lluta. Idesia 1: 7-41.

Paliwal, R.L. 2001. Introducción al maíz y su importancia. En: El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, Roma-Italia, 100 p.

Pasternak, D., De Malaca, Y., Borovic, I. 1985. Irrigation with brackish water under desert conditions. II. Physiological and Yield response of maize (*Zea mays*) to continuous irrigation with brackish water to altering brackish -fresh- brackish water irrigation. Agricultural Water Manage 10: 47-60.

Richardson, S.G.; McCree, K.J. 1985. Carbon balance and water relations of sorghum exposed to salt and water stress. Plant Physiology 79: 1015-1020.

Rivelli, A.R.; James, R.A.; Munns, R.; Condon, A.G. 2002. Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. Functional Plant Biology 29: 1065-1074.

Shabala, S.N.; Shabala, S.I.; Martynenko, A.I.; Babourina, O.; Newman, A. 1998. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na^+ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. Australian Journal of Plant Physiology 25: 609-616.

Sternberg, P.D.; Ulery, A.L.; Villa-C.M. 2001. Salinity and boron effects on growth and yield of terapy and kidney beans. HortScience 7: 1269-1272.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 152 10-11-20 15:45

Torres, A., Jiménez, M. 1999. Uso de aguas salinas y servidas para la producción agrícola en los valles de Lluta y Azapa. Facultad de Agronomía, Universidad de Tarapacá, Arica-Chile, pp:195.

Weatherwax, P. 1955. History and Origin of Corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In: G.F. Sprague, ed. Corn and Corn Improvement (1st Ed.). New York, USA, Academic Press, pp: 1-16.

Wilkes, H.G.; Goodman, M.M. 1995. Mystery and missing links: the origin of maize. In: Maize Genetic Resources. S. Taba (Ed.). Mexico, DF, CIMMYT. Pag: 1-6.

Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. Maydica 30: 209-223.

Wimmer, M.A., Mühling, K.H., Läuchli, A.; Brown, P.H.; Goldbach, H. 2003 The interaction between salinity and boron toxicity affects the subcellular distribution of ions and proteins in wheat leaves. Plant, Cell and Environment 26: 1267-1274.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 153 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 154 10-11-20 15:45

"LO QUE EL TIEMPO NO BORRA: COMPLEMENTARIEDAD ENTRE LOS SABERES DE LAS COMUNIDADES RURALES DEL TAMARUGAL Y LA AGROECOLOGÍA"

Luis Pizarro A.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 155 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 156 10-11-20 15:45

Introducción

La región de Tarapacá se ubica en el norte del país, abarcando una superficie de 42.225,8 kilómetros cuadrados equivalentes al 5,6 % del territorio nacional. Según el Censo 2017, la población alcanza los 330.558 habitantes con una densidad de 7,83 habitantes por kilómetro cuadrado. Limita al norte con la región de Arica y Parinacota, al este con la República de Bolivia y al oeste con el Océano Pacífico, abarcando desde los 19° 13' hasta los 21° 38' de latitud sur, aproximadamente. Esta región tiene 4 pisos ecológicos: altiplano, precordillera, pampa y costa. Los dos últimos se caracterizan por un clima donde predomina la ausencia absoluta de precipitaciones, convirtiéndose en un paisaje de extrema aridez y escasa vegetación, llegando a ser una de las regiones más secas del mundo. Su hidrografía presenta regímenes esporádicos dentro de un relieve irregular en comparación con las tres unidades tradicionales del país (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile). La región se divide políticamente en dos provincias. La primera es la provincia de Iquique, que comprenden las ciudades de Alto Hospicio e Iquique. La segunda es la provincia del Tamarugal constituida por una gran extensión de 38.923 km^2. Con una población aymara de 20.493 personas (Censo, 2017), asentada en los 4 pisos ecológicos, en donde han sabido comprender y aprovechar la diversidad del altiplano como el de precordillera, los valles y oasis, llegando hasta la pampa del Tamarugal. Hoy, esta pequeña población persiste en sostener cada uno de los pisos ecológicos que transitaron, respetaron y han sabido conservar, al igual que la labor que realizan las guardadoras de semillas mapuches, los pueblos aymaras de la región con el solo hecho de mantener sus prácticas locales heredadas realizan la gran labor de ser un banco de semillas vivo. Aquí atesoran la diversidad genética de los cultivos y sus especies silvestres, para que aun podamos disfrutar de las riquezas del patrimonio agroalimentario e identitario de la región.

Si tenemos la posibilidad de compartir el saber local de la mano de las personas que permanecen en cada uno de estos pisos ecológicos –que, por lo demás, algunos ya han desaparecido del mapa institucional–, contaremos con la posibilidad de profundizar el camino a la transformación

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 157 10-11-20 15:45

productiva con énfasis en los criterios agroecológicos (Venegas, 2009), de volver a otorgar la posibilidad de visibilizar y de dinamizar la economía rural de los territorios, y revalorizar los productos locales. Por esto, es muy importante transmitir desde la experiencia empírica los avances logrados. A continuación revisaremos dos propuestas de valorización territorial construidas desde la mirada del desarrollo rural y criterios agroecológicos.

1. HABITANTES DE HUAVIÑA Y SU CAMINO HACIA LA PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA

Huaviña está ubicado a 153 kilómetros de Iquique y a 80 kilómetros de Huara. Por la ruta 15-CH se inicia el recorrido por esta carretera en dirección al altiplano hasta conectar con el acceso a la localidad en plena precordillera, donde, bajando por interminables curvas rodeadas de imponentes cerros es posible acercarse geográficamente a la quebrada de Tarapacá, llegando a los 2.300 msnm. Aquí se encuentra el pueblo de Huaviña, perteneciente a la comuna de Huara, una de las cinco comunas de la provincia del Tamarugal. Esta localidad presenta un clima marginal de altura con temperaturas que fluctúan entre los 10 °C y 25 °C. En el verano, se ve afectada por las lluvias estivales o "invierno altiplánico" que, cuando son de mayor intensidad a lo habitual, provocan crecidas en el cauce del río, originando pérdidas de eras de cultivos cercanos a la quebrada. En ocasiones, se activan quebradillas por laderas de los cerros provocando derrumbes de material, estropeando el camino y casas que estén en su curso, incluyendo el camino que conecta con la ruta 15-CH, dejando aislados a los pobladores por el periodo que se prolonguen las lluvias estivales (enero-febrero).

En la actualidad, el pueblo de Huaviña al igual que muchos en el interior de la región, cuentan con un número reducido de pobladores: el censo del 2017 contabilizó 37 habitantes que, al presente, se debe haber reducido en 15% debido a la existencia de una población envejecida que cada año emigra a la ciudad por problemas de salud o su fallecimiento, debido a su longevidad. Con la influencia de la economía industrial alrededor del salitre y la chilenización impuesta por el Estado se provocó un acelerado proceso de desintegración social y cultural del territorio (Podestá, 2018), sin poder revertir el escenario de empobrecimiento, emigración y soledad en los caseríos de la región.

El nombre Huaviña proviene de *Mancahuaviña,* palabra Quechua-Aymara que significa "Flor de Altura", pero que luego mutó a "Linda Flor del Valle", como se le llama hoy al pueblo, en donde sus pocos habitantes

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 158 10-11-20 15:45

Figura 1. Vista aérea del poblado de Huaviña (a) y sus terrazas (b) (Fotos: L. Pizarro).

persisten en sostener los saberes locales heredados, principalmente de la agricultura en terraza. Esta técnica milenaria es de las más reconocidas desde el imperio Tahuantinsuyo, debido a que posee el gran mérito de adaptarse y desarrollarse en medios geográficos que, a primera vista, no

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 159 10-11-20 15:45

ofrecen las mejores condiciones para la agricultura. La ganadería en la localidad es más bien de consumo familiar. La comunidad posee un rico legado cultural aymara de colorido y naturaleza, que se traduce en festividades religiosas variadas durante el año, y un ambiente lleno de creencias que rescatan tradiciones ancestrales. La iglesia, que data del siglo XVII, es el centro de la celebración cada 23 de junio, en honor a San Juan –patrono y protector de la localidad–; así como también para la fiesta a los difuntos que se realiza cada 1 de noviembre. Este patrimonio fue declarado Monumento Nacional en 1953.

Las mujeres habitantes del pueblo de Huaviña son reconocidas por su gran disposición para participar en actividades de promoción y exposición realizadas por las instituciones públicas o privadas en la ciudad de Iquique. Al conversar con ellas, acerca de los productos que ofertan, es posible darse cuenta que sus problemáticas van asociadas a la baja producción agrícola (membrillo, maíz tostado, orégano, orejones de membrillo), sin embargo, siguen manteniendo su agroecosistema. Sumándose a su motivación, se coordinó una actividad metodológica que pueda apoyarlas a construir una visión en común y de largo plazo del pueblo.

La primera actividad realizada con los habitantes de Huaviña permitió enseñarles a utilizar el instrumento técnico metodológico de los Mapas Parlantes. Esta herramienta ofrece la posibilidad de hacer participar a la gente y expresar por sí misma toda la información que en ella plasman de la localidad y sus alrededores, generando diálogos por medio de ello, traduciéndose en un proceso de diagnóstico más real, más cercano a sus realidades, a sus necesidades, dificultades socioeconómicas actuales y a compartir visiones de largo plazo del territorio que ayudan a guiar la estrategia en el camino a la agroecología.

Traducción de Mapas Parlantes

El resultado de la actividad se puede ver desde distintos enfoques. En lo socioeconómico se evidencia una población fracturada, con dificultades para acceder al mercado regional, con un aumento en la desertificación que se puede asociar en parte a la migración de la mayoría de la población joven a la ciudad en busca de mejorar las condiciones de salud, educación y trabajo. Pese al escenario antes descrito aún existen ganas, en los habitantes del pueblo, de mejorar su pasar actual, de no cambiar su tránsito normal del campo a la ciudad, donde el centro sea el campo y su localidad.

Asimismo, salió a la luz el legado cultural aferrado a sus festividades religiosas durante el año agrícola, lleno de creencias que rescatan

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 160 10-11-20 15:45

tradiciones ancestrales propias de Huaviña, con sitios arqueológicos que llaman a recordar muchas historias de los locatarios. También, un patrimonio agroalimentario propio, representado por el árbol del membrillo (*Cydonia oblonga* Mill.), el que es cultivado en sistemas ancestrales de terrazas asociado al cultivo de la alfalfa y en menor superficie a los cultivos de maíz, ajo, zanahoria y algunas hierbas aromáticas como el romero, orégano y menta, incorporados en los últimos años. Estos últimos han sido sembrados como respuesta a las variables climáticas que han variado con el pasar de los años, según cuentan los habitantes de mayor rango etario. Antiguamente las heladas ocurrían en junio, julio y, a veces, en la primera semana de agosto, "se dejaba caer una helada tardía", como dicen los abuelitos. Este comportamiento climático, observado por ellos y sus abuelos, les permitía organizar fechas para las labores de poda de sus membrillos asegurando una mayor floración, y con esto, una mayor producción, obteniendo así una mayor cosecha entre diciembre y enero, y anticiparse a los problemas que ocasionan las lluvias estivales y los posibles cortes de camino en febrero.

Una estrategia basada en bioindicadores heredados por los abuelos, les permitía antiguamente reducir los riesgos climáticos, asegurar su alimentación familiar (seguridad alimentaria) y vender sus excedentes oportunamente en la ciudad. Actualmente el relato generalizado de los pobladores es de incertidumbre climática, debido a que han intentado adaptarse a las condiciones actuales, sin tener resultados positivos en sus estrategias, viéndose afectados fuertemente por las heladas cada vez más frecuentes en la época de invierno. Por esto, decidieron retrasar aún más el periodo de la poda, para evitar las pérdidas y obtener mejores resultados productivos. Pero llegado a los meses de cosecha (enero-febrero) se presentan las lluvias estivales donde deben acelerar o acortar el periodo de cosecha, ya que existen altas probabilidades de quedar aislados por corte del camino. Esto es un inconveniente no menor considerando que se trata de una población predominante de adultos mayores, que se ven superados para realizar labores de cosecha en un menor tiempo, teniendo la pudrición de la mayoría de membrillos.

Las problemáticas antes descritas han generado desalientos en la mayoría de los comuneros que hoy se mantienen en el territorio, aún más con la dificultad actual que significa generar excedentes económicos provenientes únicamente de la agricultura, como acostumbraban tener desde tiempos remotos. Cada vez son mayores las exigencias para lograr vender su producción en los centros agropecuarios, sumado a los costos relacionados con las distancias que recorren en busca de puntos de ventas alternativos para generar un mínimo de ventas.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 161 10-11-20 15:45

Figura 2. Registro de la actividad metodológica de los mapas parlantes del territorio de Huaviña (Fotos: L. Pizarro).

Pese a estas problemáticas aún existe la convicción de que es posible seguir adelante, capacitándose y buscando alternativas que les permitan continuar con su actividad agrícola complementándola con nuevas

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 162 10-11-20 15:45

estrategias de economías alternativas a base del desarrollo del agroturismo como estrategia para aportar a la economía local, y abordar desde la producción agroecológica un conjunto de prácticas y principios que mejora la resiliencia, resguarda la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, promueva la biodiversidad, el estudio de los agroecosistemas, y genera en los consumidores una conciencia de valorización, y visibilización de los productos identitarios, sumado a la promoción del consumo de alimentos sanos para la población local y regional.

En este enfoque agroecológico y en el proceso de transición para adoptar herramientas y conocimientos nuevos y antiguos que favorezcan el desarrollo de tecnologías apropiadas para la permanencia de las prácticas y cultivos locales en el sector, se deben hacer esfuerzos que se abordarán a largo plazo, con resultados tangibles según qué tan comprometidos estemos con el proceso, tanto agricultores como los profesionales que trabajan con la comunidad.

Los agricultores necesitan abordar una estrategia que les permita reducir las pérdidas de cultivos, asegurar su alimentación y contar con un excedente de productos de la temporada que les permitan generar una economía de base. Para esto se está trabajando en la transformación de la materia prima, del membrillo y otros cultivos, a productos acabados que permitan su almacenaje, mediante su procesamiento. Esto resolvería las diversas necesidades descritas, generándose expectativas en el grupo para iniciar estos procesos de adopción de la propuesta de valor territorial de Huaviña, la que se visibilizará ante actores claves como instituciones públicas, consumidores y dirigentes locales.

Se puso en marcha la estrategia diseñada (Figura 3) iniciándose el trabajo desde el ámbito productivo abordando la agregación de valor de los productos locales.

En cuanto a los actores claves, los principales, y donde se han concentrado y se espera seguir trabajando en adelante, son la Ilustre Municipalidad de Huara, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) regional y el Servicio de Salud regional. La Municipalidad de Huara es la entidad local administrativa de la que depende el pueblo de Huaviña. El INDAP tiene como misión fomentar y apoyar la agricultura familiar campesina, promover el desarrollo de tecnologías del sector para mejorar su capacidad comercial, organizacional y empresarial. Una de las herramientas con que cuenta esta institución es el programa de desarrollo de inversiones (PDI), al que la comunidad de Huaviña postuló el 2018, adjudicándoselo para diseñar y construir una sala de procesamiento de alimentos comunitaria, para la elaboración de deshidratados y conservados de membrillo,

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 163 10-11-20 15:45

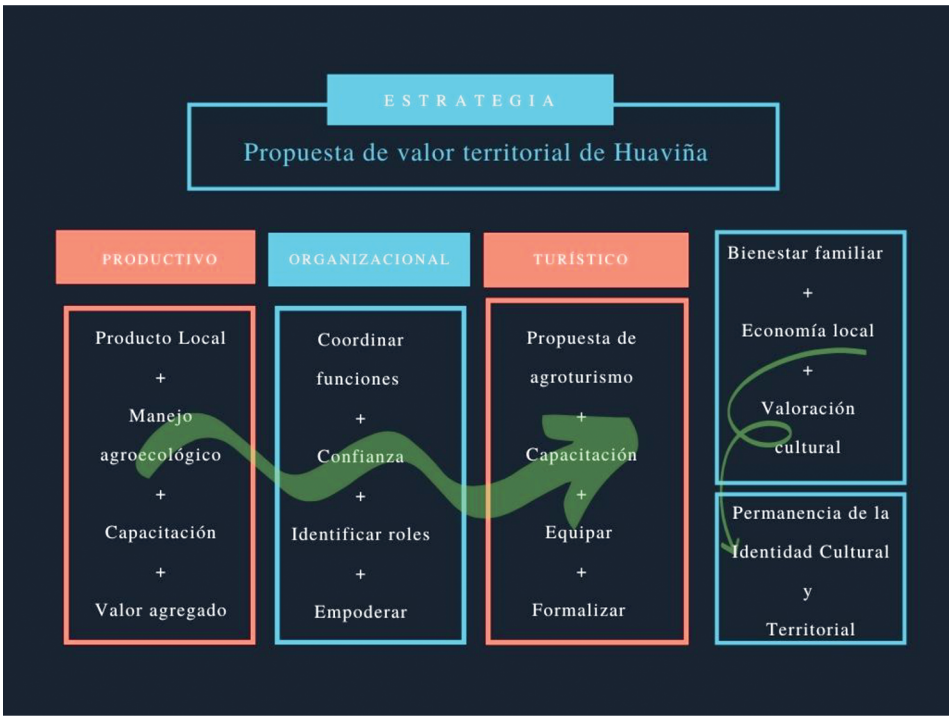

Figura 3. Estrategia de Propuesta de valor territorial de Huaviña (Elaboración: L. Pizarro).

resguardando los estándares de seguridad e inocuidad alimentaria normados por el Servicio de Salud. Es justamente esta entidad la encargada de fiscalizar los estudios, diseño constructivo, el funcionamiento de la sala, y el etiquetado correspondiente de los alimentos procesados. Todo este procedimiento es luego respaldado con la obtención de la Resolución Sanitaria.

La Ilustre Municipalidad de Huara e INDAP tienen distintos aspectos de participación en este proyecto; y es gracias a este trabajo conjunto que se han generado oportunidades por medio de distintas instancias para acercar a los productores a los potenciales compradores mediante el fomento de ferias, exposiciones regionales, nacionales y mercados locales.

Para la postulación de la construcción de la sala de procesamiento se realizaron varias actividades. En primer lugar, se revisó la documentación legal del terreno disponible para la construcción: el terreno fue otorgado por Bienes Nacionales a la Comunidad Indígena Aymara Linda Flor de Huaviña con documentación vigente. En segundo lugar, se realizó el diagnóstico de los servicios básicos (energía, agua y descarga): si bien la localidad de Huaviña presenta una red de alcantarillados, esta no cumple

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 164 10-11-20 15:45

El primer paso de un proceso que puede extenderse durante los próximos tres años, lo iniciaron las locatarias de Huaviña, quienes desean potenciar su hermoso pueblo, no ser olvidados en la memoria colectiva de la región de Tarapacá, y motivar a algunos de los jóvenes huaviñanos a retornar al pueblo, sumándose a la propuesta que valora los saberes locales, la incorporación del manejo sociocultural en la sostenibilidad de la biodiversidad del territorio, la aplicación de desarrollo tecnológico, basado en principios ecológicos para lograr una sostenibilidad a nivel del cultivo local y el bienestar socioeconómico.

Figura 4. Estrategia de valor agregado, como motor de la propuesta de valor territorial.

con las exigencias mínimas establecidas para ser autorizado por la Seremi de Salud. En el caso de la potabilidad de agua rural (APR) se encuentra regularizado y vigente ante el servicio fiscalizador, caso excepcional entre las 16 localidades pertenecientes a la comuna, debido a que las otras 15 localidades no cuentan con agua potable. La realidad del abastecimiento de energía eléctrica del pueblo de Huaviña y las otras 15 localidades, se proporciona para el alumbrado público del pueblo por un período de dos horas, generada por un grupo electrógeno, alimentado por combustión subsidiado por la municipalidad.

Situación similar viven la mayoría de las localidades de las otras cuatro comunas rurales de la provincia del Tamarugal en la actualidad, realidad que colabora con la migración de los habitantes rurales a las zonas urbanas en búsqueda de una mejor "calidad de vida".

En tercer lugar, el diseño y presupuesto de la sala de procesamiento de alimentos comunitaria fue realizado por la arquitecta de la municipalidad, quien se preocupó de que el diseño integrara las exigencias mínimas establecidas en la normativa vigente de la Seremi de Salud.

Luego se realizó una evaluación de la situación productiva de los predios de los habitantes de Huaviña, para cuantificar el volumen aproximado por tipo de cultivo (Tabla 1) en un período anual, en un escenario positivo.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 165 10-11-20 15:45

Tabla 1. Producción estimada del año 2018 de los productores de Huaviña.

Producto	kg / año	Producto	kg / año	Producto	Atados/ año	Producto	Atados/ año
Membrillo	6.575	Maíz	5.200	Romero	720	Menta	300
Ajo	1.400	Zanahoria	4.000	Orégano	360	–	

Durante el 2019, mientras se llevaba a cabo la construcción de la sala de procesamiento, se realizaron capacitaciones teóricas referentes a la comprensión de la agroecología y los principios que lo sostienen con el fin de ser llevados al trabajo práctico en los predios a medida que se comprende la importancia y beneficios al lograr equilibrar la sostenibilidad de sistemas agroalimentarios.

La programación de actividades del 2019 estuvo accidentada debido a las lluvias estivales de febrero y por las heladas que se iniciaron en julio, las que fueron intermitentes, pero presentes hasta septiembre, provocando pérdida de flores en los árboles de membrillos con la obtención de bajos rendimientos.

En el establecimiento del plan de fortalecimiento de la propuesta de valor del territorio, se han realizado diversas actividades, entre las que destacan las siguientes:

1. Se abordó la propuesta de turismo cultural, patrimonial y ecológico de la Comunidad Indígena Aymara Linda Flor de Huaviña, la que se postuló a la CONADI (Corporación Nacional de Desarrollo Indígena) donde no se obtuvieron resultados positivos.
2. Se coordinó, con la Corporación de Estudios y Desarrollo Norte Grande (CNG) por medio de su programa de voluntariados, una actividad para colaborar con la poda de los membrillos de los agricultores. Los objetivos específicos y alcanzados fueron: 1) Facilitar el trabajo de la poda, ya que la mayoría de los habitantes del pueblo son mayores de edad y no logran completar la poda de la totalidad de los árboles. 2) Organizarse para coordinar el abastecimiento de la alimentación del grupo de voluntarios por dos días. 3) Realizar charla de instrucción de la técnica de poda de los membrillos a los voluntarios.
3. Se realizó una charla teórico-práctica de apicultura con dos profesionales dedicados al rubro, en donde se indicó la importancia y beneficios de la labor de las abejas respecto de la polinización, beneficios nutricionales y su uso.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 166 10-11-20 15:45

4. Se realizó una actividad práctica de elaboración de biopreparados para el control preventivo de áfidos (pulgones), donde se invitó a utilizar en la transferencia de la información a un productor agroecológico de la comuna de Pica.
5. En octubre del 2019 se inauguró la sala de procesamiento de alimentos comunitaria, en la que participaron distintos actores públicos incluyendo funcionarios de la Seremi de agricultura de Tarapacá, el alcalde de la comuna, INDAP y representante de la Fundación para la Superación de la Pobreza.
6. Se iniciaron los trámites administrativos para presentar las carpetas de autorización de funcionamiento del saneamiento del alcantarillado particular de la sala.
7. Diagnóstico, diseño y planificación del sector de las terrazas, para repoblar el entorno y diseñar un sistema productivo biodiverso alrededor del cultivo del membrillo, producto local a valorar. Comentan los pobladores que, antiguamente, en el sector de las terrazas no tenían problemas de plagas en sus cultivos, ni se veían afectados por las variaciones climáticas (precipitaciones, bajas de temperatura y vientos), y justamente, recuerdan el sector de las terrazas con una mayor diversidad de cultivos. Los cultivos más mencionados son el pepino dulce, el capulí, maíces y las peras de pascuas. En la actualidad, en las terrazas se contabilizan 3 tipos de cultivos que predominan el sector: la alfalfa, cebollín y membrillo. También se puede sostener que los árboles, arbustos, pastos que actuaban de cerco vivo, se han ido reduciendo con el pasar de los años producto de las estrepitosas crecidas del río, en

Figura 5. Terrazas de cultivo (Foto: L. Pizarro).

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 167 10-11-20 15:45

donde cada año se va reduciendo más el sector y ensanchando el cauce del río. Por último, y como lo verificaremos en la Figura 5, se pueden ver espacios de cultivo abandonados, producto de las migraciones y con los agricultores más dispersos y expuestos.

A continuación se aborda la propuesta del diseño y planificación de la zona experimental, en donde se realizará una de las prácticas utilizadas en la agroecología para promover la diversidad de cultivos: la asociación de cultivos.

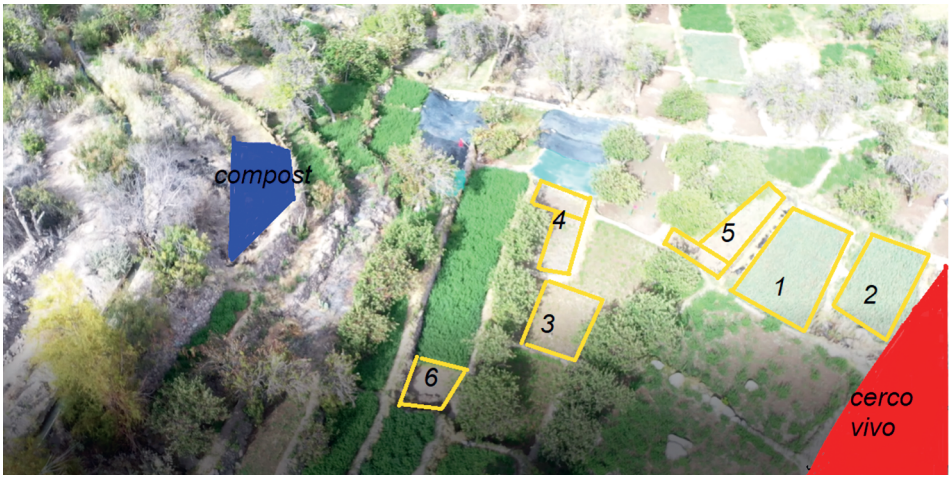

Figura 6. Planificación y diseño predial en las terrazas de Huaviña (Foto: L. Pizarro).

En la Figura 6 se observa la planificación del diseño agroecológico en torno al terreno de cultivo en el que se han realizado los trabajos en la localidad de Huaviña.

Se identifica con color azul la zona de compostaje donde se procesa el guano animal con los desechos agrícolas. Es fundamental preocuparse de la incorporación de materia orgánica al suelo considerando que la estrategia es fomentar la vida, mejorar la estructura del suelo y aportar nutrientes necesarios para el correcto crecimiento de las plantas cultivadas. Es recomendable que la zona de compostaje esté ubicada cercana al predio donde se incorpora el compostaje.

La zona de color rojo en la imagen es el sector que actuaba como cerco vivo, antes de desaparecer producto de las crecidas del río. La recuperación del sector es fundamental en la actualidad debido a que al estar desprotegidos, están más propensos a ser afectados por las heladas en invierno, los vientos intermitentes de agosto y septiembre que corresponde al

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 168 10-11-20 15:45

periodo de floración de los membrillos. Para esto se debe replantar, para que así barreras formadas estén compuestas de 90% de árboles, arbustos y herbáceas locales como el pimiento, la cola de zorro, la sorona y la cola de caballo, que a su vez pueden ser utilizados para la elaboración de biopreparados para el control preventivo de plagas. Se incluirán algunas especies aromáticas como el romero y la lavanda para promover el albergue de insectos "benéficos" y "perjudiciales", en búsqueda de generar un equilibrio dinámico.

Asociación de cultivos. En Huaviña, desde alrededor de 10 años se realiza la asociación de cultivos entre el árbol del membrillo y la alfalfa, la que debe ser cortada antes del inicio de la floración del membrillo en agosto. También se realiza la asociación entre membrillo y maíz, a la que se incorpora el cultivo del zapallo para aprovechar la presencia del maíz como sostén.

En las eras 1 y 2 se ubica el cultivo del cebollín. Luego de su cosecha, son transformadas en las unidades experimentales del sistema de asociación de cultivos distribuidas en el orden indicado en la tabla 2.

Tabla 2. Asociación de cultivos propuestos en eras 1 y 2.

Era Nº 1	Beneficios	Era Nº 2	Beneficios
Cebollín	Se protegen entre ambas de sus enemigos (polilla, trips del cebollín y la mosca de la zanahoria).	Maíz dulce	Se aprovechan formas de crecimiento y uso del espacio, necesidad de luz y soporte físico.
Zanahoria		Melones	
Betarraga		Maíz dulce	
Zanahoria		Melones	
Cebollín		Maíz dulce	

En las eras 3, 4, 5 y 6 (Tabla 3) existe la asociación entre el cultivo de membrillo y la alfalfa como reconocido fijador de nitrógeno atmosférico y abono verde incorporado directamente al suelo. Para los productores la asociación y beneficios de esta asociación son para aprovechar la incorporación de nitrógeno en las eras, donde el árbol del membrillo se ve favorecido. Además, se usa para alimentar a los animales (conejos, cerdos y corderos) y es atrayente de insectos benéficos y polinizadores como las abejas.

Existe un problema de plagas de pulgones en este sector, el que puede estar asociado al exceso de nitrógeno. Al no generar rotaciones de cultivos asociados a los árboles de membrillo para equilibrar el consumo de

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 169 10-11-20 15:45

nutrientes y al no existir corredores biológicos y cercos vivos como estrategia para la reducción de lo que induce al aumento de la población de insectos plagas, debido a la baja relación existente entre la sobrepoblación de plagas versus la población de enemigos benéficos.

La propuesta es generar en los espacios disponibles en las eras con alfalfa y membrillo, la incorporación de plantas aromáticas y asteráceas con el propósito de aportar al control biológico del control de pulgones y arañita roja, con los efectos de repeler y atraer enemigos benéficos, aprovechando los cortos periodos de crecimiento de las hierbas y la alta existencia de nitrógeno que favorecerán su desarrollo.

Tabla 3. Cultivos asociados en las eras 3, 4, 5 y 6.

Eras Nº 3, 4, 5 y 6	Beneficios	Beneficios
Huacatay Albahaca Menta Hierba buena Huacatay	El huacatay tiene la gran propiedad de generar un efecto insecticida en los nematodos e inhibe algunas malezas, como la grama.	Las aromáticas tienen la propiedad de repeler plagas, como el pulgón y escarabajos. Se utilizan como mulch y atrayentes de avispas y sírfidos.

8. Elaboración de biopreparados, para el control preventivo de insectos plagas y enfermedades que hoy afectan a los cultivos, como el pulgón y la arañita roja. Existe una tendencia a utilizar estos biopreparados debido a que son de fácil elaboración, manipulación, bajo costo económico y baja o nula toxicidad. No podemos olvidar que estos biopreparados son parte de la estrategia de control preventivo que se debe abordar para mantener reducida la población de plagas y enfermedades. Los biopreparados, dependiendo de su ingrediente activo y su propósito, se clasifican en biofertilizantes, biofungicidas, bioinsecticidas y bioestimulantes (Lattuca *et al*., 2019).

Los productores conocen la técnica para elaborar un biopesticida que ha demostrado en terreno su efectividad en el control preventivo de áfidos y ácaros. Este es el jabón potásico cuyo uso se alterna con una planta local de uso medicinal denominada cola de caballo (*Equisetum giganteum* L.) reconocida por su acción fungicida de las más efectivas utilizadas en la agroecología, y apta para control de Roya (heridas en las hojas), Oidiosis (polvo blanco sobre las hojas), Mildiú (manchas blanquecinas debajo de las hojas), *Phytophthora* sp. (pudrición y marchitez de plantas),

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 170 10-11-20 15:45

Septoria (manchas oscuras en hojas), *Botrytis* sp. (pudrición de brotes, flores y frutos), Alternaria (manchas oscuras en hojas) (Lattuca *et al*., 2019). También es utilizada como insecticida para el control de insectos chupadores.

CONCLUSIÓN

De la mano de la propuesta de valor y el manejo agroecológico, respecto del sistema de cultivos en terrazas, se resguardará la permanencia y la puesta en valor de un sistema de cultivo milenario donde el árbol del membrillo podrá sostenerse en el tiempo, mejorar sus rendimientos, y el consumidor local podrá disfrutar de su particular sabor. Además, con la estrategia de manejo ecológico generamos aptitudes de valoración por parte del agricultor, que no estaban identificadas en su uso, como lo es el huacatay (*Tagetes minuta*), cultivo que estaba considerado por algunos agricultores como una maleza. Asimismo, el uso en el control preventivo de enfermedades y plagas, identificado en la cola de caballo, que la podemos encontrar en los bordes encharcados cercanos al río.

Tenemos claro que la propuesta puede generar excedentes comerciales si el manejo se realiza fielmente en cada una de las actividades antes descritas, ya que existen alternativas para que el producto final tenga un mayor valor agregado, no solo por ser un producto saludable, sino también por someterlo a un proceso de transformación que aporta un mayor valor comercial. Aun así, lo principal del trabajo en la propuesta a abordar con los productores, está en generar alternativas de valoración y sostenibilidad para no perder la identidad del territorio y el patrimonio agroalimentario de la región.

2. INVERNADERO ALTIPLÁNICO COMO APORTE DE JÓVENES AYMARAS A LA DIVERSIFICACIÓN ECONÓMICA DEL TERRITORIO, A LA VALORACIÓN CONSTRUCTIVA TRADICIONAL Y EL USO DE MATERIALIDAD ECOLÓGICA EN ANCUAQUE

Ancuaque es una localidad de la comuna de Colchane ubicada en el altiplano y en el piso ecológico más alto de la región de Tarapacá. Cuenta con una riqueza natural diversa, que permite realizar prácticas turísticas de aventura y apreciación de la naturaleza. Todo este paraje es custodiado

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 171 10-11-20 15:45

por las comunidades aymaras que habitan en el territorio desde tiempos remotos. Algunos investigadores afirman que los aymaras provenían del noreste amazónico, los que fueron atraídos por el esplendor de la cultura Tiahuanacu que tuvo como centro el lago Titicaca.

El Altiplano o Puna es una región de América del Sur que comprende el norte de Chile, el centro y sur de Perú, la parte occidental de Bolivia y el noroeste de Argentina. Básicamente son cuencas sedimentarias formadas en altura, en su mayoría sobre los 3.500 msnm, debido al tectonismo y a la actividad volcánica existente en estas latitudes (Promer, 2011).

Las condiciones climáticas registran precipitaciones promedio anuales que oscilan entre los 50 y 250 mm, concentrándose de diciembre a marzo. La temperatura promedio anual oscila entre –10 °C y 12 °C.

Debido a la morfología de la zona (cuencas endorreicas en un clima de bastante aridez) se han formado numerosas lagunas y salares. Las precipitaciones en estas cuencas son de origen tropical y ocurren durante el verano del hemisferio sur, lo que es conocido como "Invierno Boliviano" o "Invierno Altiplánico". Estas precipitaciones son de carácter convectivo, con una alta variabilidad espacial y se concentran en enero y febrero. Este fenómeno desaparece más al sur, con mínima influencia en la región de Atacama. Estas condiciones extremas solo permiten que subsista una vegetación especializada, con pocos requerimientos hídricos y capaces de soportar amplias oscilaciones térmicas. Los bofedales, o humedales altoandinos, conforman sistemas adaptados a estas condiciones, conocidos como vegetación de estepa o esteparia, que minimizan la transpiración debido a la reducida superficie de sus hojas, algunas de estas han evolucionado transformándose en espinas (Promer, 2011).

Las viviendas son en su mayoría de adobe, ya que es el material del que disponen y que saben trabajar, por herencia, para la construcción de sus hogares. Con el pasar del tiempo algunas de estas habitaciones se han derrumbado, quedado sin techos, no tienen servicios sanitarios, no poseen electricidad, y sus habitantes, en su mayoría, viven en condiciones precarias en comparación a los habitantes urbanos. Colchane es considerada una de las comunas más extremas del país, que por lo demás según el Censo del 2002 es donde se encuentra la mayor población de aymaras del país. Se debe tener presente el proceso de urbanización de la población indígena: las cifras del Censo 2002 indican que el 64,8% de los indígenas se encuentran en la ciudad y solamente el 35,2 % se encuentra en las zonas rurales, tomando en cuenta que no necesariamente se puede ver de forma negativa, sino también puede responder a la oportunidad de revalorar el dominio de los pisos ecológicos de los pueblos originarios.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 172 10-11-20 15:45

La región de Tarapacá tiene una población levemente superior a los 300.000 habitantes (Censo, 2012), en su gran mayoría concentrados en las comunas de Iquique y Alto Hospicio (que juntas congregan al 87,8% de los habitantes). Del total regional, 17,7% se considera perteneciente a algún pueblo indígena –se identifican 9 pueblos– y de estos 66,8% son aymaras, 18% mapuches y 5,8% quechuas. En la comuna de Colchane, la población alcanza apenas las 1.300 personas, 96% son aymaras y están distribuidos en las distintas localidades de la comuna.

Las principales actividades que se desarrollan en la zona son el turismo, la artesanía, la ganadería y la agricultura, principalmente el cultivo de quinua. Con las condiciones expuestas anteriormente y la falta de oportunidades laborales, se ha producido un envejecimiento progresivo de la población en la comuna, ya que las generaciones más jóvenes migran a la ciudad en búsqueda de trabajo y educación para sus hijos. Esto ha provocado que la población de Colchane disminuya permanentemente, aumentando el índice de emigración, la que es aún más acentuada en las localidades en el sector de Cariquima, al sur de la comuna. Este hecho, agregado a que la población remanente es de edad más avanzada, se constituye en un factor limitante para el desarrollo a mayor escala de las actividades productivas realizadas en la comuna.

Los esfuerzos gubernamentales en los últimos años han generado algunos lineamientos institucionales para abordar e incluir a las mujeres y a los jóvenes rurales dentro de sus áreas centrales de trabajo. En INDAP, el grupo de jóvenes es identificado como el grupo perteneciente al rango etario que va desde los 18 a 35 años de edad, y que tiene un gran potencial de emprendimiento e innovación, por lo que se habilitó ciertas herramientas de financiamiento para apoyar al desarrollo de los emprendimientos de jóvenes rurales.

Esta oportunidad la aprovecharon un grupo de cuatro hermanos de la localidad de Ancuaque, quienes tenían la motivación de desarrollar un negocio de comercialización de productos frescos de hortalizas para suplir en primer lugar a la población de la comuna, y en segundo lugar para proveer a los hoteles y restaurantes del territorio, inspirándose en los invernaderos de adobe de autoconsumo que se promovieron por varios años entre los habitantes de las localidades de la comuna, como respuesta a mejorar la nutrición familiar y la salud (seguridad alimentaria). Estos con una dimensión de 8 x 10 m, similares en las dimensiones y diseño a las casas que construyen, modificando la materialidad en el techo y sus ventanas por láminas de policarbonato para generar luminosidad y calor (simular a un invernadero), convirtiéndose así en nuevas oportunidades

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 173 10-11-20 15:45

de trabajo para estos jóvenes de la familia Ticuna-García que buscan reencantar a las nuevas generaciones y mitigar la migración masiva (y con esto la mantención de los territorios, la cultura, la sabiduría y la tradicionalidad).

Para abordar la propuesta del invernadero de adobe, sus dimensiones, materialidad y construcción, se realizó el levantamiento de información necesaria para construir con mayor seguridad, y cuantificar el buen uso de los recursos, ya sean solicitados por vía de financiamiento del Estado y por recursos propios.

Luego se realizó un ejercicio con el grupo de jóvenes rurales para identificar las ventajas y desventajas de este proyecto.

Ventajas de construir un invernadero de adobe

1. Se usan recursos del lugar y pone en valor los conocimientos del trabajo, elaboración y permanencia de la identidad constructiva de la cultura aymara.
2. Al ser estructuras de adobe están certificadas, por los abuelos, como resistentes a los frecuentes vientos en el altiplano, teniendo una mayor durabilidad.
3. Ahorro de dinero al utilizar la estructura de barro, y además de reducir en un porcentaje la compra de policarbonato.
4. Permite cultivar especies hortícolas, que no resisten las temperaturas de frío extremo (heladas) que están presentes a lo largo del año.
5. Se puede extender el periodo de cultivo si el manejo del invernadero es realizado con dedicación.

Desventajas de construir un invernadero de adobe

1. El invernadero no funciona sin agua y sin una persona fija para realizar sus labores.
2. Se deben controlar parámetros diarios de temperatura, abriendo o cerrando las ventanas y puerta.
3. El riego bajo invernadero debe realizarse a diario en los periodos de primavera y verano; y cada 7 a 15 días en el periodo de invierno-otoño.
4. La regulación de la temperatura dentro del invernadero es fundamental para el periodo de desarrollo del cultivo.
5. Genera una dependencia el cuidado del manejo del invernadero, siendo un trabajo a la que no están acostumbrados los productores de quinua del altiplano.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 174 10-11-20 15:45

Acompañado del ejercicio de identificación de las ventajas y desventajas de construir un invernadero de adobe, es importante recopilar información importante que debe ser abordada para generar la construcción y buen manejo del invernadero.

1. La temperatura en estos modelos constructivos puede llegar alcanzar 50 °C en el periodo de verano, siendo perjudicial para el desarrollo de los cultivos provocando trastornos en las plantas. Por esto, se debe limitar la radiación solar generando sombra al interior del invernadero. También, se puede reducir la temperatura con un sistema de ventilación natural o forzada. Cuando los invernaderos son grandes o con un ancho superior a los 35 m, se usa principalmente la ventilación cenital (Pérez, 2003). La temperatura máxima que se debe alcanzar durante el día, no debería superar los 35 °C.
2. Para la construcción con adobe, se puede trabajar desde septiembre a marzo, cuando las temperaturas no son tan bajas, debido a que con temperaturas bajas los ladrillos de adobe no se secan y tiene problemas de juntarse unos con otros.
3. Para definir la ubicación del invernadero de adobe, se debe considerar contar con un terreno nivelado o realizarse la nivelación del terreno, si lo amerita.
4. Se debe considerar el tener disponibilidad de agua de forma permanente para asegurar el suministro al sistema de riego de los cultivos.
5. La orientación del invernadero es importante para que pueda tener buena iluminación. Para esto debe tener orientación Este a Oeste, lo que depende de la disponibilidad de espacio en el terreno. También existe un factor importante a considerar que son los fuertes vientos que pueden perjudicar tanto la estructura como el material de la cubierta.
6. Es importante generar buenas conexiones entre los programas y herramientas que se puedan articular en beneficio de potenciar el desarrollo local por medio de instituciones público-privadas. En este caso, los distintos pasos se realizaron con los siguientes financiamientos:
    - Diseño de proyecto de construcción del invernadero de adobe, Programa de PDI Jóvenes rurales.
    - Diseño de canalización y conducción del sistema de riego por goteo, Programa PRI (programa riego intrapredial).
    - Incorporación de guano, Programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios SIRSD-S

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 175 10-11-20 15:45

- Programa de Asesorías especializadas para asesoría de profesionales para la instalación, mantención y programación de tiempos de riego y periodos de incorporación de biopreparados. Colaboración en la estrategia de mitigar las altas radiaciones en el periodo de primavera-verano.

Ubicación y diseño del proyecto. El invernadero se encuentra en la localidad de Ancuaque, en la comuna de Colchane, en un bajo muy cercano a caminos de buen estado y bajo el nivel del estanque comunitario.

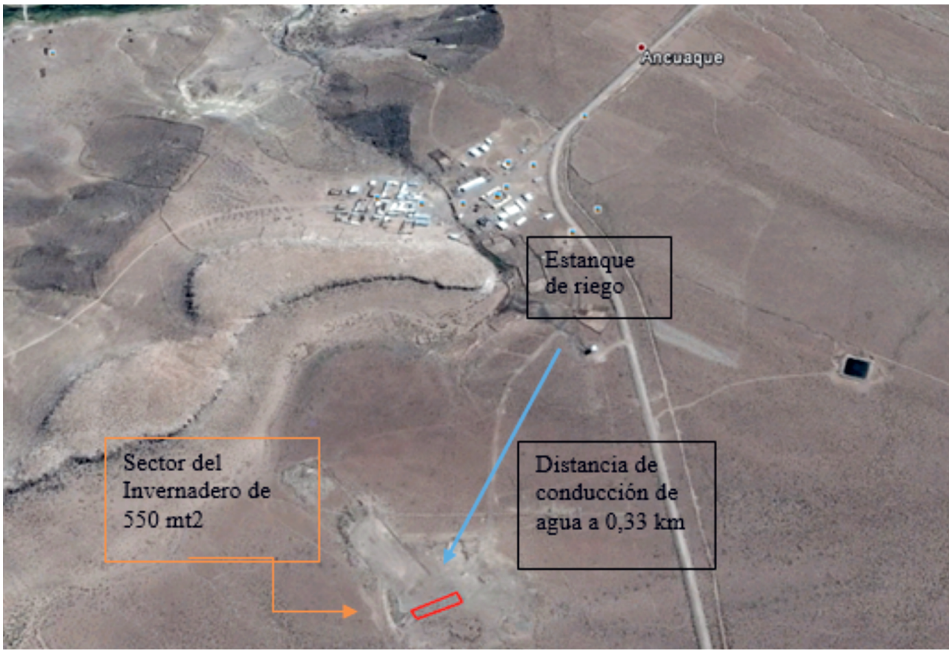

Figura 7. Ubicación del invernadero de adobe (Elaboración: L. Pizarro).

Diseño del invernadero. Consta de 1 metro de altura de pirca de piedra, 1,5 metros de altura de las murallas de ladrillos de adobe, con 4 ventanas laterales y 3 ventanas frontales por lado. La cubierta es de policarbonato, el diseño del techado es tipo A (dos aguas), considera una lucarna para la ventilación cenital. La dimensión total de la construcción del invernadero es de 550 $m^{2,}$ abarcando un ancho de 11 m, un largo de 50 m, y una altura de 3 m.

Una vez terminado el proceso constructivo del proyecto del invernadero de Ancuaque, se generaron modificaciones a las planteadas en el diseño propuesto debido a que los maestros que realizaron la cercha, no tenían la experiencia para realizar la ventilación (lucarna) deseada en la estructura.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 176 10-11-20 15:45

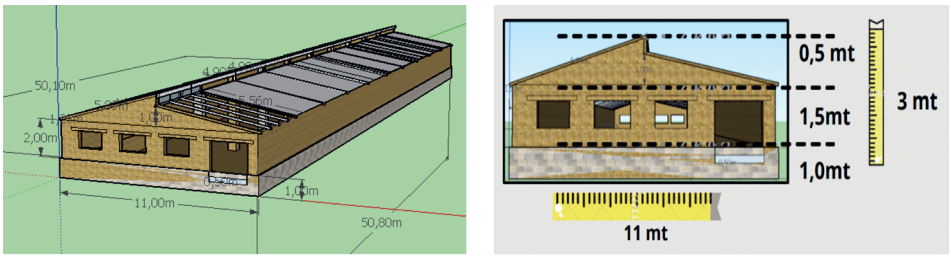

Figura 8. Diseño y dimensiones del invernadero de adobe (Elaboración: L. Pizarro).

Figura 9. Etapas constructivas del invernadero de adobe en Ancuaqua (Fotos: L. Pizarro).

La otra modificación importante es la orientación propuesta. Como indica la bibliografía, esta debe ser de preferencia de este a oeste, lo que no se pudo lograr debido a que las condiciones del terreno no se los permitían, por lo que finalmente se construyó con orientación sureste a noreste. Estos datos se deben considerar para generar la estrategia de control ambiental al interior del invernadero en los periodos de cultivos.

Se postuló a un proyecto de instalación de sistema de riego por goteo en invernadero de adobe con energía solar fotovoltaica y estanque acumulador, para el grupo de jóvenes rurales de Ancuaque.

El proyecto consideró la construcción de un estanque de acumulación para asegurar el suministro de agua para los cultivos en las temporadas programadas, y resguardar los periodos de mayor escases del recurso, mejorando la eficiencia de su uso, asegurando la entrega de nutrientes,

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 177 10-11-20 15:45

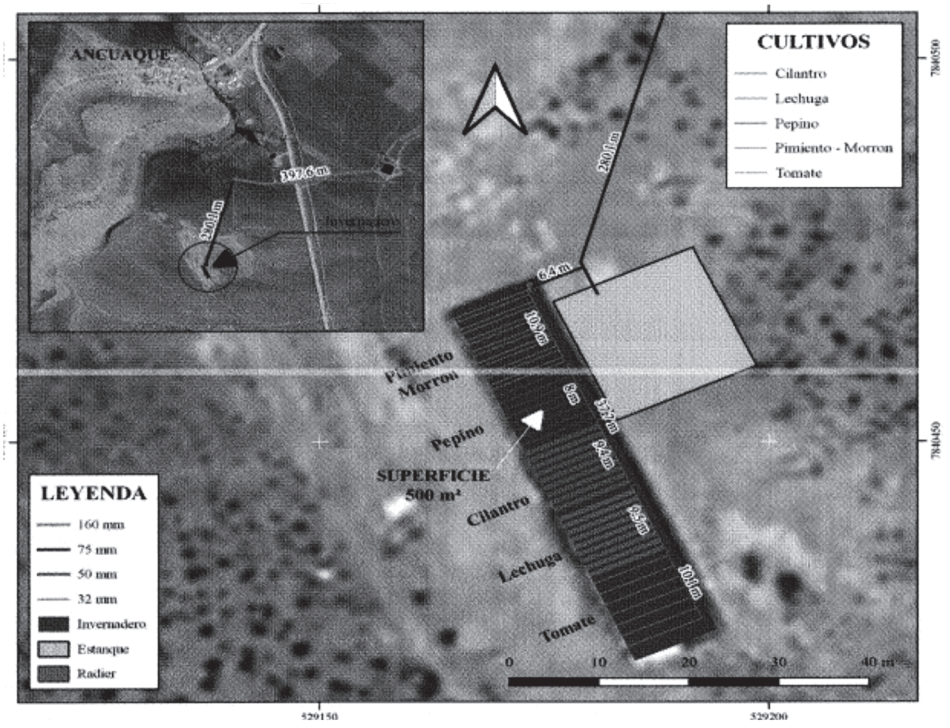

Figura 10. Diseño del sistema y conducción de riego del invernadero (Foto: L. Pizarro).

generando medidas de mitigación para el control del ambiente al interior del invernadero. Todo esto, para generar un manejo sostenible de las producciones de policultivos o cultivos asociados propuestas por temporada.

En paralelo al desarrollo del proyecto de riego se abordó, mediante otro programa de INDAP, llamado Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S), para postular a la recuperación de suelos e incorporar materia orgánica al invernadero de adobe, realizando un abonado de fondo con guano local. Este se calcula a una dosis referencial de 24 ton/ha, que en total alcanzó una cantidad de 1,2 ton de guano estabilizado para la superficie del total del invernadero de 550 m^2.

Estos avances fueron realizados en dos etapas comprendiendo un periodo de dos años iniciando en septiembre del 2018 y terminando con el proyecto de riego en enero del 2020. Para el presente año se abordaría la estrategia de capacitación, acompañamiento y manejo de hortalizas, el control agroclimático al interior del invernadero, el funcionamiento del sistema de conducción y la fertirrigación, el que se vio interrumpido por la pandemia mundial desde marzo del presente año. Para el acompañamiento

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 178 10-11-20 15:45

y educación, se solicitó la herramienta del programa de asesoría especializada de INDAP, en donde se contrató a dos profesionales especializados en el área de fertirrigación y de fisiología vegetal, con los que se estructurará la estrategia de producción sustentable de los cultivos asociados propuestos para el invernadero de adobe del altiplano.

La estrategia de manejo de producción de cultivos asociados del invernadero de adobe, se plantea desde septiembre a marzo (primavera-verano). Con el fin de realizar un cultivo funcional, de potenciación entre especies y eficiencia de recursos (agua, suelo, luz y nutrientes), se iniciará con la planificación del sistema de cultivos asociados.

El invernadero consta de 5 estaciones de cultivo que van de este a oeste, cubriendo todo el ancho del invernadero. Cada era tiene 10 m de largo, y 5 m de ancho. Cada era cuenta con uno o dos conectores, donde se instalarán cintas para riego por goteo. Las estaciones permiten trabajar en la planificación del espacio, donde se asociarán los cultivos. Para tener un buen resultado de la estrategia, es importante tener en cuenta los marcos de plantación sugerida para cada cultivo (Tabla 4), y así lograr el beneficio esperado, conforme a la planificación realizada (Figura 5). La nutrición del sistema se realizará mediante la aplicación de guano como abonado de fondo (ya aplicado) y el uso de té de compost, por medio de sistema de fertirriego. Con el fin de asegurar la buena calidad de los componentes, se realizarán análisis a ambos abonos, para conocer los aportes nutricionales y verificar la necesidad de las cantidades a aplicar según las demandas de los cultivos y sus periodos de crecimiento.

Tabla 4. Marco de plantación de los cultivos propuestos (primavera-verano).

Cultivo Asociado	Largo	Tomate	Albahaca	Lechuga	Perejil	Cebolla	Zapallo	Acelga	Pepino
Largo de hilera	m	10	10	10	10	10	10	10	10
Distancia entre hilera	m	1	1	0,4	0,4	0,4	1	1	1
Distancia entre plantas	m	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,6	0,3	0,6
Total de hileras	m	7		6	5	11	8		9
Total de plantas	unid	175	175	198	250	550	48	264	144

Otro manejo importante a tener en cuenta es el manejo de la temperatura en el invernadero. El clima de alta montaña es extremo en los días invernales, llegando a los 10 °C bajo cero. Sin embargo, el material noble

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 179 10-11-20 15:45

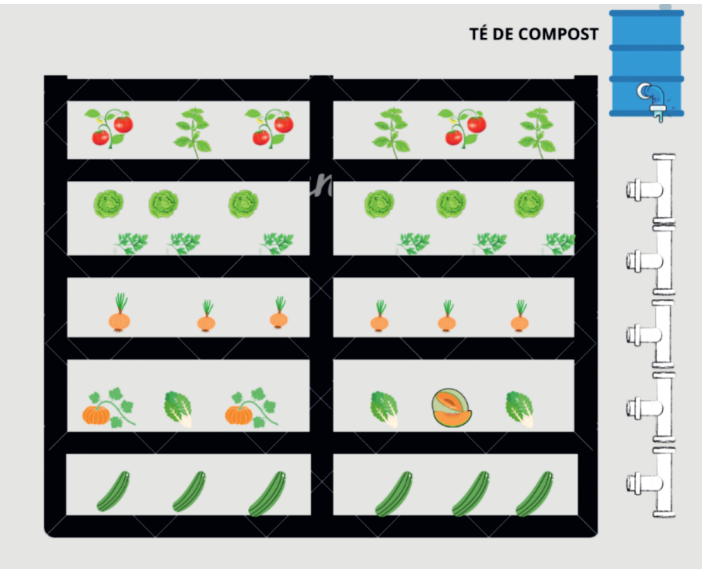

Figura 5. Planificación de los cultivos asociados en el invernadero. Se puede apreciar el sistema de riego con el estanque de almacenamiento de té de compost, y las asociaciones de los distintos cultivos.

de uso tradicional con el que está hecho el invernadero, permite mantener una temperatura adecuada durante la noche, gracias a la absorción de calor desde el exterior durante el día, para traspasarlo al interior cuando baja la temperatura. En la época de invierno, este manejo de temperatura es conveniente para permitir el desarrollo vegetativo a pesar del frío extremo. Aun así, en invierno es importante seguir controlando la variación térmica, para así evaluar el cultivo de plantas más resistentes en época invernal. Sin embargo, durante el verano, se debe ser aún más riguroso con la mantención de la temperatura. Debido a la alta radiación y a la temperatura ambiente más templada, el invernadero acumula mucho calor a tempranas horas del día, por lo que puede afectar al crecimiento de las plantas. Por ello, es primordial generar acciones preventivas para evitar el aumento de temperatura. Lo primero que se realizó fue pintar el techo con pintura blanca, para regular la entrada de calor por el sol. Para esto se utilizó cal, ya que así se puede lavar fácilmente antes del inicio del invierno cuando sí es necesaria la entrada máxima de luz.

En segundo lugar, se debe maximizar el uso de las ventanas para una buena ventilación instalando conductores de viento de materiales reciclables, favoreciendo el viento natural que entra desde el borde oeste del invernadero. Por último, se instalaron estanques con agua al interior del invernadero, que ayudan a regular la temperatura.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 180 10-11-20 15:45

CONCLUSIÓN

Una de las dimensiones más relevantes en la llamada "revolución de la agroecología", es la revalorización del conocimiento propio de los agricultores, el que, se asume, es derivado de una variedad cultural que ha coevolucionado con las condiciones naturales, por lo que es necesario darle presencia en el desarrollo técnico científico (Altieri *et al*., 2012). La agroecología se aleja de los lineamientos productivistas de la agricultura industrial, cuya única misión es aumentar los rendimientos, debido a que la agroecología busca soluciones de acuerdo con las necesidades y aspiraciones de las comunidades, por lo que muchas veces son validadas a nivel local y para situaciones o necesidades más particulares del territorio (Sarandon y Flores, 2014). Así es como, en los ejemplos discutidos anteriormente, se aborda la valoración del campesino y las necesidades de las comunidades, para luego reactivar los agrecosistemas en los que se encuentran los productos identitarios y la sostenibilidad del patrimonio agroalimentario. Ahora, nos debemos preocupar de educar a la población de consumir y preferir los productos locales provenientes de la producción amigable con el medio ambiente de cada una de sus regiones, ya que si no se trabaja en la promoción de su consumo, cada uno de los esfuerzos realizados en el rescate y revalorización, desde el área científica que deseemos aportar, seguirán quedando en estudios científicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M.; Koohafkan, P.; Giménez, E.H. 2012. Agricultura verde: fundamentos agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos. *Agroecologia* 7(1):7-18.

Altieri, M.; Toledo, V. 2011. "La revolución agroecológica en américa latina". *Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología* vol. 38. Nº 3.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Información territorial de la región de Tarapacá. https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region1

Lattuca, A.; Mariatti, A.; Cerilli, S.; Rapallo, L. 2019. Guía básica para la planificación y manejo agroecológico de cultivos. 1ª Edición. Ediciones Santa Fe. 94 p.

Pérez, J. 2003. "Manejo del clima en el invernadero mediterráneo: ventilación natural". Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). 15 p.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 181 10-11-20 15:45

Podestá, J. 2018. "Desarrollo, territorial y globalización: el caso de la provincia del Tamarugal en el norte de Chile", en *Atenea,* Nº 517.

Promer. 2011. "Consultoría para diseñar e implementar un modelo de negocio sustentable que articule oferta y demanda en quinua y de sus derivados, identificando brechas de calidad de potenciales compradores y en mercados nacionales e internacionales para quinua para la temporada 2011-2012, provincia del Tamarugal, región de Tarapacá".

Sarandon, J.; Flores, C. 2014. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Universidad Nacional de la Plata.

Venegas, C. 2009. "Territorio agroecológico con identidad cultural: la experiencia de Chiloé". Territorios con identidad cultural. Centro de Educación y Tecnología. CET Chiloé. 25 p.

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 182 10-11-20 15:45

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 183 10-11-20 15:45

ANDROS IMPRESORES
www.androsimpresores.cl

42181-AGRICULTURA RECURSOS.indb 184 10-11-20 15:45