



El cultivo de la quínoa en Chile

Editor: Iván Matus Tejos

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

BOLETÍN INIA / N° 362

ISSN 0717-4829



Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile



El cultivo de la quínoa en Chile

Editor:

Iván Matus Tejos.

Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Ph.D.

INIA RAYENTUÉ
Rengo, Chile, 2015
BOLETÍN INIA N° 362

ISSN 0717 - 4829



El presente boletín entrega los principales resultados obtenidos en el marco del proyecto "Adaptación de la quínoa para alimentos infantiles y galletas". Este proyecto es coejecutado por INIA y el Centro de Excelencia de Alimentos WUR Chile, el cual está inserto en el Programa de Atracción de Centros de Excelencia Internacional para la Competitividad, financiado por CORFO, Código 11CEII-9568, realizado entre los años 2012 y 2015.

Editor:

Iván Matus Tejos
Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D.

Autores:

Pedro León-Lobos, Biólogo, Mg. Sc. INIA La Platina
Andrés Zurita-Silva, Ing. Agrónomo, Mg. Sc. INIA Intihuasi
Enrique Veas, Ing. Agrónomo, Agrodynamis Consultores
Christian Alfaro J. Ing. Agrónomo, Dr. INIA Rayentué
Iván Matus T. Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. INIA Quilamapu
Kurt Ruf, Ing. Agrónomo, INIA Rayentué
Manuel Pinto, Ing. Agrónomo, Dr. INIA La Platina
Jorge Carrasco J. Ing. Agrónomo, Dr. INIA Rayentué
Jorge Riquelme S. Ing. Agrónomo, Dr. Mg.I.A. INIA Raihuén
Sofía Felmer E. Ing. Agrónomo, INIA Rayentué
Alberto Pedreros L. Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Concepción
Leidy Molina M. Ing. Agrónomo, Universidad de Concepción
Carlos Quiroz, Ing. Agrónomo, M.Sc. INIA Intihuasi

Director responsable:

Nilo Covacevich C.
Ing. Agrónomo. Ph.D.
Director Regional INIA Rayentué

Boletín INIA N° 362

Cita bibliográfica correcta:

Ivan Matus T. (ed.). 2015. El cultivo de la quinoa en Chile. Boletín N°362. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo. Chile. 103 p.

© 2015. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación INIA Rayentué. Av. Salamanca s/n, km 105, ruta 5 sur. Sector Los Choapinos. Rengo. Teléfono +56 72 252 1686.

ISSN 0717-4829

Corrección de textos: Alejandra Catalán F. y Andrea Romero V.

Diseño y diagramación: Jorge Berríos V.

Impreso en: Trama Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 300

Rengo, Chile, 2015

Índice de contenidos

Capítulo 1.	
Antecedentes generales de la quínoa	5
Capítulo 2.	
Genética y mejoramiento genético de la quínoa	25
Capítulo 3.	
Aspectos de la fisiología del cultivo de la quínoa	33
Capítulo 4.	
Preparación de suelos para el establecimiento de quínoa	47
Capítulo 5.	
Riego de la quínoa	65
Capítulo 6.	
Manejo de malezas en quínoa	73
Capítulo 7.	
Plagas y enfermedades en el cultivo de quínoa	87

Agradecimientos

El editor agradece a los más de 14 productores que participaron en este proyecto y que, con apoyo del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), evaluaron y desarrollaron métodos de producción confiables y económicos para el cultivo de la quínoa en las regiones de O'Higgins, Maule y Biobío, mediante un conjunto de quinoas adaptadas para obtener alto rendimiento y grano de buena calidad. También a la empresa NESTLÉ, que realizó estudios con el propósito de adaptar y desarrollar formulaciones de productos (alimentos para bebés y galletas) que incorporen quínoa como uno de los ingredientes; a WAGENINGEN UNIVERSITY AND RESEARCH (WUR) que evaluó tecnologías de separación para producir concentrados y nuevos aislados en base a quínoa; y a la empresa francesa ABBOTTAGRA que estuvo a cargo de la generación de un sistema fiable de suministro de semillas de quínoa y estrategias para fortalecer la cadena de suministro quínoa en Chile.

Finalmente, agradecer a CORFO por el financiamiento de esta iniciativa.

Capítulo 1.

Antecedentes generales de la quínoa

Pedro León-Lobos

Biólogo Mg. Sc. Dr.
pleon@inia.cl

Andrés Zurita-Silva

Ing. Agrónomo Mg. Sc. Dr.
andres.zurita@inia.cl

Enrique Veas

Ing. Agrónomo, Agrodynamis Consultores
agrovision@gmail.com

Introducción

La quinua o quínoa (*Chenopodium quinoa*) es uno de los cultivos más importantes para alimentación humana en la región andina de Sudamérica (FAO 1998). De ser considerado en el pasado como un “cultivo de indios”, actualmente es reconocido como uno de los cultivos subutilizados más promisorios y estratégico a nivel mundial, debido a su potencial en el logro de la seguridad alimentaria y nutricional, su utilidad para la erradicación de la pobreza, como alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana en países subdesarrollados (Jacobsen 2003, FAO 2011), y su potencial gastronómico y comercial.

La palabra quínoa proviene de la lengua quechua y significa “grano madre”. Los mapuches del sur de Chile la conocen como kinwa o dawé (Mujica *et al.* 2001). En la época de los Incas este grano era considerado un alimento sagrado y era usado para propósitos medicinales (Mujica 2015). Este cultivo ancestral, junto a la papa y el maíz, conformaron la base de la dieta alimenticia de los pueblos prehispánicos en las tierras altas de los Andes desde Colombia hasta Argentina y Chile. Su uso fue común en las regiones andinas hasta el inicio del siglo 20, cuando los países de la región iniciaron la importación masiva de trigo (Mujica 1992, Mujica *et al.* 2001, Tapia 2014).

En las últimas décadas a nivel mundial, el cultivo de quínoa ha tomado un espacio y ha llamado cada vez más la atención de agricultores, científicos, mejoradores de plantas, e industria alimentaria (Bazile y Baudron 2014), esto dado principalmente por: a) la amplia variabilidad genética que presenta, la cual es la base para el desarrollo de variedades superiores para su cultivo en un amplio rango de ambientes, b) su rusticidad y adaptabilidad a crecer en diferentes condiciones ambientales adversas, particularmente las condiciones extremas prevaecientes en los Andes de Sudamérica, c) sus cualidades nutricionales que lo convierten en un alimento funcional e ideal para el organismo y finalmente, d) su bajo costo de producción, ya que el cultivo es poco exigente en insumos y mano de obra (FAO 2011).

Su alta calidad nutricional le ha permitido posicionarse en la actualidad como uno de los cultivos de mayor demanda en Europa y Estados Unidos (Fürche *et al.* 2014), donde se encuentra generalmente asociado a mercados especializados en productos saludables y orgánicos (FAO 2011, Bazile y Baudron 2014).

La quínoa es un cultivo rústico, de bajos requerimientos hídricos y de nutrientes. Se adapta a diferentes climas desde el desértico hasta climas templados: el cultivo puede crecer desde lugares secos a ambientes húmedos (80% humedad relativa en el ambiente). La temperatura adecuada para el cultivo es de 15 a 20°C, pero puede soportar temperaturas desde - 4°C hasta 38°C. Es una planta eficiente en el uso de agua, pudiendo crecer en suelos con baja humedad y salinos, obteniéndose producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm (FAO 2011).

Descripción del cultivo

La quínoa es una planta de tipo anual, Dicotiledónea, que alcanza una altura de 0,3 a 2,0 m, dependiendo de las condiciones ambientales. Las plantas, así como sus frutos y semillas, presentan una gran variedad de colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios entre éstos (**Figura 1 A y B**). El tallo principal puede ser ramificado o no, dependiendo del ecotipo, variedad, densidad de siembra y de las condiciones medioambientales en que se cultive. Las hojas, dentadas, presentan diversas formas en una sola planta (carácter polimórfico): las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, mientras que las hojas superiores, generalmente alrededor de la panoja, son lanceoladas. La inflorescencia es una panoja con un eje principal más desarrollado, del que se

originan los ejes secundarios y, en algunos casos, los terciarios. Las flores son muy pequeñas y densas, se agrupan en glomérulos, son sésiles y, pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles. El fruto es un aquenio indehisciente que contiene un grano que puede medir hasta 2,66 mm de diámetro. El episperma que envuelve al grano está compuesto por cuatro capas: la externa determina el color de la semilla, es de superficie rugosa, quebradiza, se desprende fácilmente con agua, y contiene saponina (Mujica 1992, Mujica *et al.* 2001).



Figura 1. (A) Diversidad presente en quínoa de Salares, Colchane, Región de Tarapacá; (B) diversidad de tamaños y colores de semillas en quínoas chilenas.

La quínoa pertenece a la Familia botánica Amaranthaceae, la cual presenta amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (Giusti 1970). Está relacionada taxonómicamente con otras especies de importancia agrícola, tales como *Chenopodium pallidicaule* (cañihua) en Sudamérica; *Chenopodium nuttalliae* (huauzontle) y *Chenopodium ambrosioides* en México; y *Chenopodium carnosolum* y *Chenopodium ambrosioides* (paico) en Sudamérica (Mujica *et al.* 2001).

Origen y distribución

La quínoa tiene su centro de origen y domesticación en la cuenca del lago Titicaca y valles interandinos de los Andes de Sudamérica. Posiblemente fue domesticada a partir de sus parientes silvestres, hace aproximadamente 6 mil años A.C. por las culturas Tihuanaco y Lupacas, en Perú (Mujica 2015). Posteriormente,

la especie fue distribuida y adaptada a diferentes condiciones agroclimáticas, edáficas y culturales, haciendo que el cultivo presente una amplia adaptación y diversos usos en las diferentes comunidades étnicas de acuerdo a sus necesidades alimentarias (Mujica 1992, Mujica *et al.* 2001).

La quínoa se distribuye desde los 5° Latitud Norte al sur de Colombia, hasta los 43° Latitud Sur en Chile, Región de Los Lagos, y desde el nivel del mar en Chile hasta los 4.000 m.s.n.m. en el altiplano que comparten Perú, Bolivia y Chile (Rojas 1998). Producto de la distribución geográfica que experimentó después de su domesticación y diseminación, en quínoa se distinguen cinco ecotipos: 1) de los valles interandinos en Colombia, Ecuador y Perú; 2) del altiplano norte en Perú y Bolivia; 3) de Yungas en Bolivia; 4) de los salares o altiplano sur en Bolivia, Chile y Argentina y 5) de la costa o del nivel del mar en el centro y sur de Chile (Risi y Galwey 1984, Mujica *et al.* 2001, Fuentes *et al.* 2012).

La quínoa probablemente llegó a Chile por traslado de semillas incluso antes de la influencia Inca sobre los grupos aborígenes chilenos, hace al menos unos 3.000 años (Planella *et al.* 2011). Este cultivo se ha desarrollado de manera fragmentada en zonas agroecológicas contrastantes del país, lo cual ha influido también en sus atributos y en la diversidad de genotipos presentes. No obstante, todos los genotipos que se cultivan en Chile corresponden a dos de los cinco ecotipos conocidos (**Figura 2**): de los salares y de la costa o del nivel del mar (tierras bajas o “lowlands”) (Fuentes *et al.* 2009, FAO 2011).

Siguiendo una posible ruta de expansión del cultivo en Chile, se distinguen tres macro-zonas:

- El Altiplano de la zona norte en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta (18-25°S), que presenta “puna” o clima de estepa en altura o desierto marginal.
- La zona central, en las Regiones del Libertador Bernardo O’Higgins, Maule y más recientemente Biobío, con un clima de tipo Mediterráneo.
- Y la zona sur, principalmente la Región de La Araucanía, con un clima templado-lluvioso con una fuerte influencia de las corrientes frías del Pacífico. Además, existen antecedentes de la presencia de este cultivo en lugares más australes, como en las Regiones de Los Ríos, Los Lagos, e incluso el Archipiélago de Chiloé (Bazile *et al.* 2014).

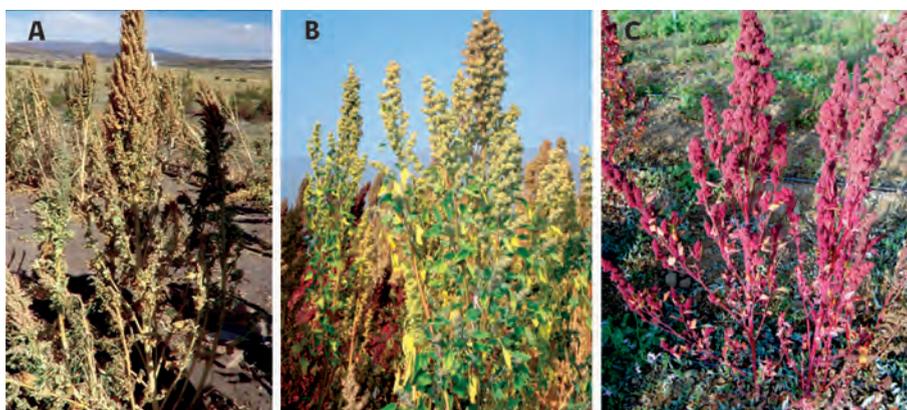


Figura 2. Planta y panoja de: (A) quínoa de salares cultivada en el Altiplano de Iquique (Colchane), (B) quínoa de costa cultivada en sector de Paredones, Región de O'Higgins y (C) quínoa de costa, en la Región de la Araucanía, sur de Chile.

Sistemas tradicionales de cultivo de la quínoa en Chile

En el Altiplano, la quínoa juega un rol predominante en el patrimonio agrícola Aymara, no obstante, en la actualidad las mayores superficies no sobrepasan las 4 hectáreas por agricultor. Para estas comunidades, la quínoa aún se cultiva mayoritariamente de manera tradicional o ancestral, caracterizada por la ausencia del uso de fertilización química, control químico de plagas y enfermedades, y bajo nivel de mecanización en todo el proceso productivo (Bazile *et al.* 2015). Los suelos recuperan su fertilidad gracias a la rotación de parcelas y a la complementariedad con la cría de llamas, que aportan nutrientes al suelo a través del guano (Delatorre-Herrera *et al.* 2013, Bazile *et al.* 2015).

El ciclo del cultivo se inicia con la siembra que se realiza entre agosto y septiembre (Delatorre-Herrera *et al.* 2013, Bazile *et al.* 2015). La siembra tradicionalmente se realiza en forma manual, en hoyos a una cierta profundidad, a veces hasta 30 cm (**Figura 3**). Una vez sembradas en hoyos, los granos son cubiertos con ramas secas. Esto sirve para proteger las plantas del viento frío y las heladas y, también aprovechar la humedad del suelo hasta que las lluvias se inicien para sostener el desarrollo de las plantas (Bazile *et al.* 2015, León-Lobos *et al.* 2015). La quínoa también se siembra en hilera en el Altiplano (Figura 3B).

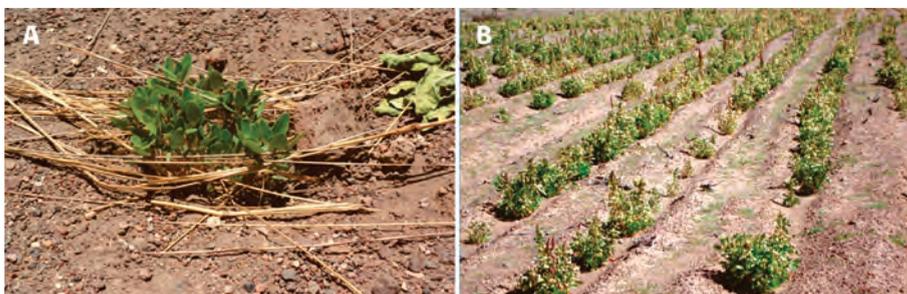


Figura 3. Sistema tradicional de siembra y cultivo de quínoa en el altiplano de Chile: (A) en holladura y (B) en hilera.

En el Altiplano la cosecha también se realiza a mano y se concentra entre los meses de abril y mayo, aunque en algunas zonas puede ser más temprana, dependiendo de las condiciones climáticas (Bazile *et al.* 2015). Luego, las panojas son secadas al sol. Para esto, son apiladas en hileras por aproximadamente dos semanas, hasta que los granos alcancen la humedad adecuada para la trilla (**Figura 4**). La trilla, que permite remover el grano de la panoja, normalmente se realiza a mano. Posterior a la trilla, todo el material suelto es aventado (venteo) con el fin de separar el grano del resto de hojas y ramillas (Veas *et al.* 2015). En algunos sectores se realiza una trilla semi-mecanizada, donde se genera el roce de las panojas mediante el paso de neumáticos (Delatorre-Herrera *et al.* 2013).



Figura 4. Emparvado de quínoa, Colchane, altiplano de Iquique.

En la zona andina, la eliminación de saponina de los granos de quínoa se hace tostando el grano, frotándolos para eliminar la cascarilla quemada, y finalmente efectuar un lavado manual, proceso que permite trabajar solo con pequeños volúmenes (Oliva 2008 en Delatorre-Herrera *et al.* 2013).

En la costa de la zona central de Chile, a pesar de haber sufrido una reducción importante de superficie en las últimas décadas, debido al aumento del área destinada a las plantaciones forestales, algunos agricultores han mantenido el cultivo de quínoa como tradición familiar. La superficie destinada a la quínoa puede ir desde únicamente unas hileras hasta extensiones de 10 hectáreas. En esta zona, la preparación del suelo antes de sembrar la quínoa se realiza a partir de agosto hasta noviembre. La siembra se realiza entre octubre y noviembre y la cosecha se concentra en los meses de febrero y abril (Bazile *et al.* 2015).

En el sur del país, actualmente la presencia de la quínoa es reducida y de manera general, cultivada por las mujeres campesinas en pequeños huertos próximos a sus casas, junto con hortalizas, en pequeñas superficies (normalmente de 100 a 2.000 m²). La quínoa mapuche siempre se siembra en corrales o con abundante guano de corral. En los huertos, la quínoa acompaña al maíz, al poroto y papas, protegiendo a estas últimas del fuerte sol en verano (Bazile *et al.* 2015). La diferencia más relevante entre la quínoa altiplánica y la quínoa mapuche es que esta última se produce en zonas con mayores precipitaciones y menores alturas sobre el nivel del mar. Esto genera un manejo totalmente distinto, especialmente en la densidad y la profundidad de siembra por la escasa fertilidad y humedad como en el caso altiplánico (Bazile *et al.* 2015).

Formas de consumo y uso tradicional

El grano de quínoa es sabroso y fácil de digerir. Tiene un sabor suave y delicado, descrito a menudo como similar a las nueces. Posee una interesante consistencia que puede ser usada para incorporar textura crujiente a casi cualquier receta. Su sabor puede ser clasificado entre amargo y dulce, lo cual está relacionado con el contenido de saponinas, que es menor en variedades catalogadas como dulces (Slow Food 2013). En forma tradicional se consume principalmente cocida, en sopas, guisos o ensaladas. Diversos autores han recopilado numerosas preparaciones con quínoa en las comunidades indígenas del Altiplano de Perú y Bolivia (ver FAO 2011): preparaciones tales como sopas, mazamorra, quínoa cocida con leche o queso rallado, panecillos fritos o cocidos, grano tostado, chicha y bebida. Asimismo, la quínoa de costa es consumida tradicionalmente en ensalada, sopas, guisos, mudai de quínoa, mote, jugo, galletas y en preparados fritos, por las comunidades mapuches del sur de Chile (CETSUR 2005).

La gran riqueza de preparados tradicionales y la plasticidad culinaria que ofrece la quínoa permiten integrarla dentro de la gastronomía internacional y crear me-

nús altamente nutritivos, competitivos en mercados globalizados y que además valoran las tradiciones (FAO 2011). La riqueza de preparados culinarios ha sido recopilada en el recetario internacional publicado en el marco de la celebración del Año Internacional de la Quínoa (FAO 2014) y en otros recetarios (<http://www.fao.org/quinoa-2013/publications/recipe-books/fr/>).

Últimamente se ha incrementado, aunque en forma incipiente, el uso de quínoa en la industria alimentaria, a través del desarrollo de varios productos derivados de este grano, como insuflados, harinas, fideos, hojuelas, granolas, barras energéticas, etc. Junto con lo anterior, se está investigando el desarrollo de otros productos más elaborados o cuya producción requiere del uso de tecnologías más avanzadas, como es el caso de la extracción de aceite, almidón, colorantes de las hojas y semillas, concentrados proteicos, etc. Estos productos presentarían un gran potencial económico, ya que se aprovecharía no tan solo las cualidades nutritivas de la quínoa, sino que también las fisicoquímicas, ofreciendo materias primas alimenticias y también para la industria química, cosmética y farmacéutica (Montoya Restrepo *et al.* 2005).

Además del grano, se consumen sus hojas tiernas como ensalada. También, la planta entera es utilizada como forraje para animales y tradicionalmente las comunidades del Altiplano han usado la quínoa para diversos fines medicinales (ver FAO 2011). A las hojas, tallos y granos de quínoa se les atribuyen propiedades cicatrizantes, desinflamantes, analgésicas contra el dolor de muelas, desinfectantes de las vías urinarias; se utilizan también en caso de fracturas, en hemorragias internas y como repelente de insectos (Mujica 1992).

Calidad nutricional

El grano de quínoa tiene un alto valor nutricional, esto dado por su alto contenido de proteínas que varía entre 13,8 y 21,9%, que lo hace superior a cereales y/ granos tales como maíz, avena, trigo y arroz (FAO 2011, **Cuadro 1**). Su calidad nutricional, además está dada por la composición de aminoácidos, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales para el ser humano, y también por ser una buena fuente de minerales (especialmente calcio, fósforo y hierro), vitaminas como la B1, fibra dietaria, compuestos antioxidantes, ácido fólico y por sus hidratos de carbono, en comparación con la de otros cereales (FAO 2011, Ayala *et al.* 2001, Repo-Carrasco *et al.* 2003, Martínez 2014).

Cuadro 1. Comparación de quínoa y otros granos respecto del contenido de proteínas, vitamina B1 y minerales importantes en la alimentación.

Fuente: Adaptado de Martínez (2014).

Tipo de Grano	Proteínas g (mg 100g ⁻¹)	Vit. B1 en 100g (=%)	Ca (ppm)	Fe (ppm)
Arroz blanco	6,7	0,08	4,6	40
Girasol	22,8	1,9	6,3	38
Maíz	9,4	0,3	25	100
Poroto Soya	36,5	0,9	157	2.770
Trigo	12,6	0,3	40	360
Quínoa	13-22	0,39	133	1.200

Las proteínas de quínoa son principalmente del tipo albúmina y globulina. Éstas tienen una composición balanceada de aminoácidos esenciales parecida a la composición de aminoácidos de la caseína, la proteína de la leche (FAO 2011). Es el único alimento del reino vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales para el organismo humano (leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina). Los valores del contenido de aminoácidos en la proteína de los granos de quínoa cubren los requerimientos de aminoácidos recomendados para niños en edad preescolar, escolar y adultos. Cien gramos de quínoa contienen casi el quíntuple de **lisina**, más del doble de **isoleucina**, **metionina**, **fenilalanina**, **treonina** y **valina**, y cantidades muy superiores de **leucina** en comparación con 100 gramos de trigo (Ayala *et al.* 2001, Repo-Carrasco *et al.* 2003; **Cuadro 2**).

Cuadro 2. Contenido de cuatro aminoácidos esenciales en quínoa en comparación con arroz y trigo (mg de aminoácidos/g de proteínas).

Fuente: Morón (1999), tomado de Canahua Murillo y Mujica (2013).

Aminoácidos	Quínoa	Arroz	Trigo
Lisina	68,0	26,0	29,0
Metionina	21,0	15,0	15,0
Treonina	45,0	24,0	29,0
Triptofano	13,0	10,0	11,0

Otro beneficio nutricional relevante del grano de quínoa es que no contiene gluten. Esta característica es importante para las personas que sufren de Celiacía, la cual es una enfermedad del tipo autoinmune, que se caracteriza porque las personas que la padecen tienen intolerancia permanente al gluten de los cereales como el trigo, centeno y cebada (Abugoch, 2009).

Los granos de quínoa son excelentes ejemplos de alimentos funcionales, ya que contienen una variedad de compuestos antioxidantes, tales como carotenoides, flavonoides, vitamina C, vitaminas del complejo B, vitamina E y compuestos fenólicos (Repo-Carrasco *et al.* 2003, USDA 2013 en Fuentes y Paredes-González 2014) que se utilizan para reducir el riesgo contra diversas enfermedades, en particular cáncer, alergias, enfermedades inflamatorias y cardiovasculares y /o ejercer efectos promotores de la salud (Fuentes y Paredes- González 2014). Cabe destacar que la quínoa contiene dos fitoestrógenos (daidzeína y genisteína), que ayudan a prevenir la osteoporosis y muchas de las alteraciones orgánicas y funcionales ocasionadas por la falta de estrógenos durante la menopausia, además de favorecer la adecuada actividad metabólica del organismo y la correcta circulación de la sangre (FAO 2011).

Aunque han sido poco estudiados, existen antecedentes de que los granos de quínoa contienen entre 2 y 11% de aceite, el cual varía entre genotipos (FAO 2011). Este valor es relativamente mayor en comparación a otros cereales como arroz y trigo (Bo 1991 y Morón 1999 citados por Jacobsen y Sherwood 2002, Repo-Carrasco *et al.* 2003). La mayor parte del aceite contenido en los granos de quínoa corresponde a ácidos grasos insaturados, que han demostrado ser de gran importancia para la salud humana al mantener la fluidez de los lípidos de las membranas celulares (FAO 2011). Dentro de éstos, los más importantes son Omega 6 (ácido linoleico), Omega 9 (ácido oleico) y Omega 3 (ácido linolénico) con un 50,24%, 26,04%, 4,77% respectivamente, respecto al total de ácidos grasos presentes en el grano de quínoa (Wood *et al.* 1993, Repo-Carrasco *et al.* 2003, Vega-Gálvez *et al.* 2010). La composición de estos ácidos grasos es muy similar al aceite de germen de maíz (FAO 2011). En este contexto, el consumo de quínoa ayuda a reducir el colesterol LDL (o colesterol malo) del organismo y elevar el colesterol HDL (o colesterol bueno) gracias a su contenido en ácidos grasos omega 3 y omega 6 (FAO 2011).

Todo lo anterior, sumado a que la quínoa es fácil de digerir, tiene buen sabor y es de fácil preparación, la ha convertido en un alimento favorito de aquellos consumidores preocupados por la salud y que evitan alimentos de origen animal o que contribuyen a aumentar el nivel de colesterol.

Desde el punto de vista organoléptico, la principal desventaja de la quínoa es su sabor amargo, dado por las saponinas presentes en la capa externa de su grano (Quiroga *et al.* 2014). No está claro el rol biológico de las saponinas, aunque en general se considera que ésta forma parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su amargor. Las saponinas han sido consideradas un factor anti-nutricional debido a su actividad hemolítica, que ha contribuido a una controversia sobre sus funciones en los alimentos (Troisi *et al.* 2014). Los estudios de su actividad biológica *in vitro* e *in vivo* han asociado las saponinas con potenciales beneficios para la salud. Las numerosas actividades biológicas asociadas a las saponinas incluyen efectos antiinflamatorios, anticancerígenos, antibacteriales, antifúngicos, antivirales y actividad antioxidante (Troisi *et al.* 2014, Choeck *et al.* 2014).

Para quitar su amargor, las semillas de quínoa son desgastadas mecánicamente para retirar la cascarilla, donde se sitúan predominantemente las saponinas, y/o son lavadas con agua antes de su uso (Quiroga *et al.* 2014). Es posible encontrar variedades y genotipos de quínoa denominadas “amargas”, “semidulces” y “dulces”. Esta clasificación se basa en el contenido de saponinas que, en términos generales, varía entre 0 y 3% en granos secos. Las denominadas “amargas” contienen entre 1 y 3% de saponinas, las “dulces” oscilan entre 0,0 y 0,1% y las “semidulces” entre 0,1 y 1% (Güçlü-Üstündağ & Mazza 2007). Sin embargo, la única aproximación para definir si una quínoa puede ser clasificada como “dulce” es la aceptabilidad organoléptica para consumo humano, que oscila entre 0,06 y 0,12% (Quiroga *et al.* 2014).

Diversidad genética de la quínoa chilena

La quínoa presenta una gran diversidad genética, entendida como la variación entre individuos debido a diferencias en su constitución genética, su respuesta al medio ambiente, y la interacción entre el genotipo y el medio ambiente. A menudo esta variación se presenta como variabilidad en características observables, por ejemplo, coloración de la planta, hojas, panoja o inflorescencia y coloración, tamaño y forma de los granos, además de atributos de calidad como el contenido de proteína y saponina en los granos. Asimismo, algunos caracteres o atributos hereditarios permiten que esta especie presente una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, entre las cuales se encuentran la adaptación a diferentes tipos de suelo, nivel de precipitación, temperatura, altitud, tolerancia a bajas temperaturas, tolerancia a sequía y salinidad (Mujica 1992).

Al analizar la variación genética entre accesiones provenientes de las diversas zonas de cultivo en Chile, utilizando técnicas de marcadores moleculares, fue posible diferenciar dos grandes grupos (Fuentes *et al.* 2009). El primero compuesto por accesiones del Altiplano del norte de Chile correspondientes al ecotipo Salares (Altiplano Andino), y el segundo agrupando las accesiones del centro-sur del país, es decir el ecotipo Costero (tierras bajas o “lowlands”). También fue posible diferenciar una alta diversidad dentro y entre las accesiones de quínoa provenientes del norte y del sur del país (Fuentes *et al.* 2009). El amplio rango de diversidad morfológica y genética observada en las quínoas chilenas probablemente es producto de la selección natural y/o humana.

En la zona norte de Chile, tradicionalmente asociada a las comunidades Aymaras, el cultivo de la quínoa se ha realizado mediante el uso de genotipos o **landraces** del ecotipo Salares, presente en el sur de Bolivia y noroeste de Argentina, representando además el único punto conocido de entrada y salida de germoplasma, a través de las actuales fronteras. Sin embargo, el cultivo de quínoa se extiende hacia la zona centro-sur de Chile en un patrón fragmentado, desde las regiones de O’Higgins (35°S) hasta Los Lagos (>40°S), en donde muchos genotipos o variedades locales (**landraces**) pertenecientes al ecotipo Costero son cultivados a distintas altitudes bajo condiciones dependientes de las lluvias. Por lo tanto, los dos ecotipos presentan diferencias contrastantes en términos de adaptación a altitud, sequía y salinidad, también como a su sensibilidad al largo del día (Zurita-Silva *et al.* 2014).

Considerando que alrededor del lago Titicaca sería el centro de origen de la quínoa (Christensen *et al.* 2007), desde hace un par de décadas se ha puesto gran atención a las colecciones de germoplasma, conservación y evaluación de las poblaciones del ecotipo Costero (costa/tierras bajas), colectadas en localidades costeras de Chile centro-sur. El avance producto de las colectas de semillas efectuadas por diversas instituciones y conservadas en el banco base de germoplasma del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, (INIA), sin duda contribuirá al resguardo de este recurso genético, a su caracterización y utilización a través de los programas de mejoramiento existentes.

El valor del germoplasma proveniente de las zonas costeras, se ve reflejado en que presenta una mayor diversidad que el germoplasma proveniente del ecotipo Salares, de acuerdo a los análisis genéticos realizados (Fuentes *et al.* 2009). Además, los materiales del ecotipo Costero mostraron dos subgrupos; el primero de los cuales incluyó accesiones desde O’Higgins a Los Lagos, y el segundo

subgrupo que incluyó solamente a quínoas de La Araucanía, demostrando que el germoplasma del ecotipo Costero es mucho más diverso genéticamente de lo que se estimaba previamente.

Estos materiales o genotipos costeros, cuya expansión ocurrió a partir de materiales originados en la zona norte, sufrieron una adaptación paulatina a las condiciones locales, ya que pasaron desde ambientes con fotoperiodos de “días cortos” típicos del Altiplano a otros ambientes, cuyos suelos, condiciones climáticas y fotoperiodos de latitudes más australes (días más largos y noches cortas en primavera y verano), y áreas más bajas y costeras, fueron seleccionados para crecer en las condiciones existentes en el sur de Chile. De hecho, el tamaño de semillas podría reflejar este proceso de adaptación, tendiendo a disminuir en latitudes más australes, pero manteniendo sus atributos nutricionales (Bazile *et al.* 2014).

Cultivo a nivel mundial y en Chile

En las últimas décadas, los materiales originales de quínoa sudamericanos han sido probados e introducidos en zonas fuera de las regiones de cultivo tradicional, incluso en nuevos continentes (Europa, Asia, África y Oceanía). En estas regiones han sido expuestos a diversas condiciones agroecológicas, incluyendo climas diferentes y técnicas de manejo cultural. La expansión del cultivo además ha traído una ampliación del espectro de otros factores bióticos que atacan al cultivo, como plagas y enfermedades, los cuales han demandado determinar sus efectos sobre la producción, y además ha planteado tanto la necesidad de evaluar la resistencia en el germoplasma de quínoa, como de identificar posibles interacciones benéficas entre microorganismos nativos y quínoa, para estudiar nuevas aplicaciones y mejorar su adaptación a nuevos ambientes (Ruiz *et al.* 2014).

Desde la segunda mitad del siglo 20, el potencial de la quínoa ha sido redescubierto y el número de países que la cultivan aumentó de 6 a 13, mientras que otros 23 países se encuentran en fase de experimentación, para iniciar próximamente la producción en campo, y adicionalmente 20 países estaban planificando sembrar quínoa por primera vez al 2014. Esto ha sido acompañado por un vigoroso incremento en la actividad de investigación, generando iniciativas estratégicas y programas cooperativos entre países, como por ejemplo la iniciativa global CIP/DANIDA (90'), o recientemente el proyecto europeo SWUP-MED en países de la cuenca Mediterránea (Bazile y Baudron, 2014).

Aunque la mayor parte de la producción y buena parte de la generación de datos científicos se basa en trabajos especialmente de Bolivia y Perú, la investigación se está extendiendo en todo el mundo y se han incluido nuevas áreas del conocimiento, como virología, nutrición y procesamiento de quínoa para usos no alimenticios, cosméticos e industriales. De hecho, al analizar las bases de datos de patentes internacionales, la expansión fuera de las áreas tradicionales de cultivo muestra varios hitos a partir de los años setenta, cuando en el sur de Colorado (USA) se realizaron por primera vez cultivos experimentales utilizando semillas de Chile. A partir de ese momento se ha experimentado un aumento en la escala productiva y la expansión progresiva hacia otras regiones en USA. Más tarde comenzó la expansión a Canadá, donde se cultiva en las planicies de Saskatchewan y Ontario. Se estima que actualmente estos países producen casi el 10% de la quínoa global y que desarrollan programas de mejoramiento en la costa noroeste de USA con material chileno con resultados muy prometedores (Bazile y Baudron, 2014).

En tanto, la introducción de quínoa a Europa se inició el '78 también con germoplasma de Chile (Universidad de Concepción) que fue llevado, seleccionado y probado por Colin Leakey en Cambridge (Inglaterra) y en el valle del Loire (Francia). Este germoplasma chileno más el germoplasma andino colectado en 1982 generó la base del programa de mejoramiento en Cambridge realizado por Galwey. Desde allí, la quínoa se distribuyó a Dinamarca, Holanda y otros países de Europa. En Inglaterra se utiliza como cultivo de cobertura donde se siembra sola o mezclada con colza, y en Dinamarca es muy reconocida y usada por personas alérgicas al gluten (Bazile y Baudron, 2014).

A partir de los años '90, la quínoa fue distribuida a otros países como Brasil, India, Pakistán, China, Australia y Japón. El '93 un proyecto europeo se inició con pruebas de campo en Inglaterra, Dinamarca, los Países Bajos e Italia, así como las pruebas de laboratorio en Escocia y Francia. El proyecto más importante en los '90 y que explica una gran expansión del cultivo, es el proyecto entre la Agencia Danesa para el Desarrollo Internacional (DANIDA) y el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú. A través de esta primera red de cooperación hubo ensayos de campo en países como Suecia, Polonia, República Checa, Austria, Alemania, Italia y Grecia (Bazile y Baudron, 2014). Este esfuerzo colaborativo aumentó significativamente el número de centros de investigación y países interesados en la quínoa.

Producto de estos trabajos, Dinamarca y Holanda crearon la primera variedad europea, Carmen, orientando los esfuerzos para reducir el nivel de saponina y

generando nuevas variedades dulces. Otras colaboraciones recientes fueron las generadas a partir del Proyecto SWUP-MED (2008-2012) para el uso sostenible del agua y asegurar la producción de alimentos en la región mediterránea frente al cambio climático. Este proyecto representó un paso importante en la expansión de la quínoa y vinculó a numerosos investigadores de Italia, Portugal, Reino Unido, Países Bajos y Dinamarca con grupos en Turquía, Marruecos, Egipto y Siria (Bazile y Baudron, 2014). Asimismo, gracias a investigaciones colaborativas entre investigadores de Chile, Argentina, Italia y Mali, fue posible introducir este cultivo en este país subsahariano, desde donde ha comenzado a expandirse a otros países de la región.

A partir del Año Internacional de la Quínoa (AIQ) 2013, se ha iniciado una nueva etapa de expansión, re-valorizando los atributos nutricionales y su indesmentible aporte a la seguridad agroalimentaria, en un escenario marcado por oscilaciones y cambios climáticos de consecuencias inciertas, que implicarán la entrada de nuevos productores desde países consumidores y/o importadores tradicionales (Bazile y Baudron, 2014). Este escenario se verá favorecido por las características sobresalientes de la quínoa, que incluyen su gran adaptabilidad a partir de su alta diversidad genética, su tolerancia a la sequía y a la salinidad, su alto valor nutricional, y la posibilidad de generar nuevos productos e ingresos a los agricultores. Un ejemplo destacado fue la promoción y evaluación del cultivo en países fuera de la región andina, con fines de fortalecer la seguridad alimentaria y evaluar la adaptabilidad de genotipos seleccionados en países de Asia (Kyrgyzstan y Tayikistán), y África (Algeria, Egipto, Iraq, Irán, Líbano, Mauritania y Yemen). En estos países se representó la diversidad de 19 sistemas agrarios bajo diferentes condiciones agroecológicas, usando 21 genotipos con un mismo protocolo experimental. Esto permitió identificar genotipos más estables en las diversas condiciones y dos genotipos con rendimiento satisfactorio ($>1 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$). La estabilidad de la producción es de considerable importancia especialmente bajo las condiciones inciertas de cambio climático (Bazile *et al.* 2016).

En nuestro país, ha habido numerosas iniciativas para impulsar este cultivo ancestral, las cuales se han visto reforzadas gracias a los esfuerzos de FAO, la reciente creación del Centro Internacional de la Quínoa en Bolivia y múltiples proyectos a nivel nacional. Sin embargo, existen varias restricciones de carácter productivo y de mercado, que limitan la expansión y masificación del consumo doméstico. Según datos de ODEPA (Muñoz, 2013), en el último censo agrícola (2011) la superficie cultivada alcanzó 1.468 hectáreas, con una producción de 883 toneladas y un rendimiento promedio nacional de $0,6 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$. La principal región

productora es Tarapacá, con el 95% de la producción nacional de ese año. Para 2012 se estimó una superficie total de 1.779 hectáreas. El mismo autor señala que el acelerado crecimiento en el consumo nacional aún no se complementa con un aumento en la producción de este grano y existe una disociación entre el productor y el consumidor, lo cual se refleja en los precios pagados por el consumidor versus los precios recibidos por el productor, que pueden ser equivalentes a un 10–30%. En términos de mercado queda aún mucho por hacer, así como en el desarrollo a nivel productivo, tanto de genética adaptada a diversas zonas productoras, los paquetes tecnológicos asociados, y los canales de comercialización, industrialización y distribución apropiados, para que los beneficios de este noble cultivo lleguen a consumidores nacionales e internacionales.

Referencias

- Abugoch, L.E. 2009.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research* 58: 1–31.
- Ayala, G., L. Ortega and C. Moron. 2001.** Valor Nutritivo y Usos de la Quinoa. Capítulo VIII: En: Mujica, A., S. E. Jacobsen, J. Izquierdo & J. P. Marathe (eds.) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile. http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap8_1.htm#top.
- Bazile, D. and F. Baudron. 2014.** Dinámica de Expansión Mundial del Cultivo de la Quinoa respecto a su alta Biodiversidad. p. 49–64. En Bazile, D. *et al.* (Editores). Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).
- Bazile, D., E.A. Martínez and F. Fuentes. 2014.** Diversity of Quinoa in a Biogeographical Island: a Review of Constraints and Potential from Arid to Temperate Regions of Chile. *Notulae Botanicae Horti Agrobi* 42(2): 289–298.
- Bazile, D., E. Chia and P. Olguín. 2015.** Diversidad en los Sistemas de cultivos con Quinoa en Chile. *Tierra Adentro* 108: 56–61.

- Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., et al. (2016).** Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary Results from Post International Year of Quinoa FAO Projects in Nine Countries. *Frontiers in Plant Science*, 7(622), 210-18. <http://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>.
- Canahua Murillo, A. and A. Mujica. 2013.** QUINUA: pasado, presente y futuro. <http://quinua.pe/wp-content/uploads/downloads/2013/04/quinuapasadopresenteyfuturo.pdf>.
- CETSUR. 2005.** La kinwa mapuche, un aporte a la alimentación. Centro de Educación y Tecnología para el Desarrollo del Sur. Publicación semestral CETSUR N°8.
- Cheok, Ch.Y., H.A. Karim Salman and R. Sulaiman. 2014.** Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International* 59: 16-40.
- Christensen, S.A., D.B. Pratt, C. Pratt, P.T. Nelson, M.R. Stevens, E.N. Jellen, C.E. Coleman, D.J. Fairbanks, A. Bonifacio and P.J. Maughan. 2007.** Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources* 5, 82-95.
- Delatorre-Herrera, J., M. Sánchez, I. Delfino and M.I. Oliva. 2013.** La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), un tesoro andino para el mundo. *IDESIA* 31 (2): 111-114.
- FAO. 1998.** Under-utilized Andean Food Crops. Rome, Italy: FAO.
- FAO. 2011.** La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Organización para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. Revisada en: 18 de Junio 2015. En: http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf.
- FAO. 2014.** Recetario Internacional de la Quinua: Tradición y vanguardia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i3525s.pdf>.
- Fuentes, F., E.A. Martínez, P.V. Hinrichsen, E.N. Jellen and P.J. Maughan. 2009.** Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics* 10(2): 369-377.

- Fuentes, F.F., D. Bazile, A. Bhargava and E.A. Martínez. 2012.** Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science* 150: 702-716.
- Fuentes, F.F. and X. Paredes-Gonzalez. 2014.** Perspectivas nutraceuticas: propiedades biológicas y aplicaciones funcionales. p. 341-357. 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).
- Furche, C., S. Salcedo, E. Krivonos, P. Rabczuk, B. Jara, D. Fernández and F. Correa. 2014.** Comercio internacional de quinua. p. 376-393. 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).
- Giusti, K. 1970.** El género *Chenopodium* en la Argentina. I. Número de cromosomas. *Darwiniana* 16: 98-105.
- Güçlü-Üstündağ Ö & G Mazza. 2007.** Saponins: properties, applications and processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 231-258.
- Jacobsen, S.E. and S. Sherwood. 2002.** Cultivo de granos andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros de quinua, chocho y amaranto. CIP y FAO Global IPM Facility. Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Jacobsen, S.E. 2003.** The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19:167-177.
- León-Lobos, P., A. Sandoval, E. Veas and H. Cortes. 2015.** El INIA en la conformación de una colección nacional de quinoa. *Tierra Adentro* N°108: 28-33.
- Martínez, E.A. 2014.** Quinoa: Aspectos nutricionales del Arroz de los Incas. p. 331-340. 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).
- Montoya-Restrepo, L., L. Martínez-Vianchá y J. Peralta Ballester. 2005.** Análisis de las variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de la quinua en Colombia. *Revista Innovar*. Edit. Unibiblos: v. 25, p. 103 - 120.

- Mujica, A. 1992.** Granos y leguminosas andinas. *In:* J. Hernández, J. Bermejo y J. León (Eds). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. pp 129-146.
- Mujica, A., J. Izquierdo and J.P. Marathee. 2001.** Origen y descripción de la quinua. pp. 9-29 En: Mujica, A., S. E. Jacobsen, J. Izquierdo & J. P. Marathee (eds.) Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Ruturo. FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile. <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap1.htm>.
- Mujica, A. 2015.** Origen de la quinua e historia de su domesticación (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tierra Adentro N°108: 14-17.
- Muñoz M. 2013.** Quinua: ¿empresarial o de autoconsumo? Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA, Chile. Disponible en www.odepa.gob.cl
- Planella, M.T., R. Scherson and V. McRostie. 2011.** Sitio El Plomo y nuevos registros de cultígenos iniciales en cazadores del Arcaico IV en Alto Maipo, Chile central. Chungara 43:189- 202.
- Quiroga C., R. Escalera, G. Aroni, A. Bonifacio, J.A. González, M. Villca, R. Saravia y A. Ruiz. 2014.** Procesos Tradicionales e Innovaciones Tecnológicas en la Cosecha, Beneficiado e Industrialización de la Quinua. p. 258-296. 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).
- Repo-Carrasco, R., C. Espinoza and S.E. Jacobsen. 2003.** Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International 19: 179-189.
- Risi, J. and N.W. Galwey. 1984.** The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. Advances in Applied Biology 10:145-216.
- Rojas, W. 1998.** Análisis de la diversidad genética del germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Bolivia, mediante métodos multivariados. Tesis M.Sc., Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia - Chile. 209 p.

- Ruiz K.B., S. Biondi, R. Oses, I.S. Acuña-Rodríguez, F. Antognoni, E.A. Martínez-Mosqueira, A. Coulibaly, A. Canahua-Murillo, M. Pinto, A. Zurita-Silva, D. Bazile, S.E. Jacobsen, M.A. Molina-Montenegro. 2013.** Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34(2):349-359.
- Slow Food. 2013.** Quinoa in the Kitchen. Slow Food Editore, Turin, Italia. <http://www.fao.org/docrep/019/ar895e/ar895e.pdf>.
- Tapia, M.E. 2014.** El largo camino de la quínoa: ¿quiénes escribieron su historia?. 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), páginas 3-10.
- Troisi, J., R. Di Fiore, C. Pulvento, R. D'andria, A. Vega-Gálvez, M. Miranda, E.A. Martínez and A. Lavín. 2014.** Saponinas. p. 317-330. *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).
- Veas, E., H. Cortes, P. Jara. 2015.** Procesamiento y manejo de post-cosecha del grano de quínoa. *Tierra Adentro* N°108: 52-55.
- Vega-Gálvez, A., M. Miranda J. Vergara E. Uribe L. Puente E.A. Martínez. 2010.** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2541-2547.
- Wood, S., L. Lawson, D. Fairbanks, L. Robison and W. Andersen. 1993.** Seed lipid content and fatty acid composition of three quinoa cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. United Nations University. 6(1) p. 41-44.
- Zevallos, V.F., L.I. Herencia and P.J. Ciclitira. 2004.** Quinoa, enfermedad celíaca y la dieta sin gluten. p. 358-374. *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).
- Zurita-Silva, A., F. Fuentes, P. Zamora, S.E. Jacobsen and A.R. Schwember. 2014.** Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding* 34(1): 13-30.

Capítulo 2.

Genética y mejoramiento genético de la quínoa

Christian Alfaro J.

Ing. Agrónomo Dr.
calfaro@inia.cl

Iván Matus T.

Ing. Agrónomo M.Sc. Ph.D.
imatus@inia.cl

Kurt Ruf

Ing. Agrónomo
kurt.ruf@inia.cl

El mejoramiento genético de plantas se inicia junto con la agricultura. Básicamente, los agricultores elegían año a año las mejores semillas, en un proceso de prueba y error que rindió frutos a través de la historia. En la actualidad, la base de la alimentación mundial se sostiene por plantas cultivadas que otorgan la mayoría de los requerimientos de energía y proteína que un ser humano posee. Además, el mejoramiento tiene como objetivo, lograr un aumento de los rendimientos; y tolerancia a estreses abióticos (por ejemplo, la sequía) y bióticos (como las enfermedades), con una reducción en la utilización de insumos. Es decir, volver más eficiente el sistema productivo, siempre adaptado al cambio climático. La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) pertenece a la familia de las Amarantáceas, es una planta herbácea anual, dicotiledónea de 1-2 metros de altura, su inflorescencia posee flores hermafroditas y unisexuales formando una o más panojas glomeruladas de diversos colores en planta y semilla respectivamente (Mellado, 2014).

En Chile existen solo dos ecotipos de quínoa, el primero de ellos es el ecotipo de Salares, el cual es compartido geográficamente con Bolivia y Argentina. Tradicionalmente se cultiva en el Altiplano en las regiones del norte de Chile caracterizándose por adaptarse a condiciones extremas de altitud (Fuentes, 2008). El segundo ecotipo corresponde a quínoas de costa, únicas dentro de la diversidad en la zona Andina; que poseen un alto potencial para los programas

de fitomejoramiento, debido a que se han adaptado a condiciones de nivel del mar y a latitudes más bajas en el hemisferio sur.

Esta especie posee un sistema de polinización versátil, mayoritariamente de auto-polinización, aun cuando manifiesta polinización cruzada en menor proporción. Las evidencias de estudios citológicos han mostrado que la quínoa es una especie alotetraploide ($2n = 4x = 36$, con un número cromosomal básico de $x = 9$), originada a partir de dos especies de *Chenopodium* diploides que se cruzaron para producir la quínoa, y que posee principalmente una segregación cromosómica de tipo diploide (Palomino *et al.*, 2008).

La elección del método de mejoramiento a emplear en una especie depende de varios factores, entre ellos: sistema reproductivo, grado de heterosis, estructura citogenética (nivel de ploidía), tipo de carácter a mejorar, heredabilidad y finalmente la acción génica. Otro punto de interés es el material de partida que se dispone; éste determina en gran parte el potencial de un programa de mejoramiento, sobre todo si el germoplasma del cual se dispone es adaptado a las condiciones de un ambiente determinado.

En el caso particular de la quínoa, el germoplasma existente en el país puede ser clasificado como "landrace" o "material criollo", que es resultado de la evolución de la propia especie y del trabajo de agricultores que lo han domesticado y mejorado. Estas landraces pueden considerarse como una mezcla de líneas puras de mayor o menor heterogeneidad según los efectos de la contaminación, cruzamiento y selección natural o artificial que hayan obrado sobre ella (Márquez, 1988).

Existe evidencia donde, producto de la selección humana asociada a la domesticación de parientes silvestres de la quínoa, se han inducido cambios morfológicos en el cultivo, principalmente a nivel de semilla, involucrando tamaño de grano, grosor de la testa y textura (Gomez-Pando, 2015).

La quínoa es una planta con un grado variable de autogamia, el cual varía entre 0,5-17%, por lo cual su mejora se basa en la obtención de líneas puras, las que una vez seleccionadas por sus características de rendimiento, adaptabilidad y calidad se consideran variedades mejoradas. Johannsen (1903) formuló la teoría de las líneas puras que se basa fundamentalmente en la prueba de progenie,

teoría que hasta la fecha sigue sustentando los programas de mejoramiento de plantas autógamias en el mundo. Para que el mejoramiento tenga resultados y sobre todo sea efectivo debe existir variabilidad genética para los caracteres de interés (Mellado, 2014). Esta última, es requisito indispensable para el cambio perdurable en los seres vivos, ya sea natural (evolución) o dirigido (mejoramiento). El manejo y conservación de las colecciones de germoplasma son importantes para mantener e incrementar la variabilidad genética, la que es fundamental para cualquier programa de mejoramiento. Se hace necesario entonces caracterizar el material, es decir, debe conocerse el comportamiento del germoplasma en diferentes ambientes; para ello se evalúa su rendimiento, precocidad, altura, arquitectura de planta, tolerancia a enfermedades, tolerancia a sequía y todo aquel carácter de interés. Existen caracteres cualitativos controlados por uno o pocos genes (por ejemplo color) y los cuantitativos controlados por muchos genes (por ejemplo, rendimiento) estos últimos con gran influencia ambiental, en consecuencia, es prioritario conocer el comportamiento de los genotipos de quínoa en diferentes ambientes para lograr eficacia en la mejora de esta especie.

Los conocimientos adquiridos a la fecha, aún insuficientes acerca de su genética y su naturaleza alotetraploide, auto-polinización y la presencia de flores de muy pequeño tamaño, hacen de la emasculación (eliminación de anteras), hibridación y el propio mejoramiento, una labor muy compleja. Las técnicas de emasculación (manual) son muy laboriosas y costosas, y limitan la producción de híbridos de alto rendimiento. Se ha intentado generar líneas andro-estériles para evitar el proceso de emasculación manual en la generación de híbridos, línea explorada solamente durante los años '90 en USA (Zurita *et al.*, 2014).

Uno de los principales problemas asociados a enfermedades en quínoa es el mildiú algodonoso (*Peronospora farinosa* pv. *chenopodii*), siendo el principal factor biótico que causa severas pérdidas de rendimiento en las principales zonas productoras, y en nuevas áreas de cultivo (por ejemplo en África). Los esfuerzos de mejoramiento en quínoa están concentrados en incrementar la resistencia durable contra el mildiú y combinar la resistencia con otros caracteres deseables como precocidad, dulzura y tolerancia a la sequía. Fuentes adicionales de resistencia al mildiú podrían estar presentes en especies silvestres de *Chenopodium* que crecen en asociación con la planta cultivada. Existen antecedentes que especies tales como *C. hircinum*, *C. nuttalliae*, *C. petiolare*, *C. album* y *C. ambrosioides* portarían genes de resistencia al mildiú (Bonifacio *et al.*, 2014).

Métodos de mejoramiento para plantas autógamias

Las plantas autógamias son aquellas que se reproducen sexualmente por autofecundación. La autogamia total no es común, si bien se consideran prácticamente autógamias, desde el punto de vista del fitomejoramiento, aquellas plantas con menos de un 4% de alogamia (Mellado, 2014). Este fenómeno es atribuido a la cleistogamia, por el cual las anteras liberan el polen sobre el propio estigma que está receptivo, con la flor cerrada. De esta manera se evita la entrada de polen extraño, como ocurre en algunos cereales.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto existen varios métodos de selección que pueden utilizarse en el fitomejoramiento de la quínoa: selección por pedigrí, selección masal, descendencia de semilla única y retrocruzas. Básicamente, el proceso se inicia con el cruzamiento de dos progenitores que originan una población genéticamente uniforme, que es la F1. La autogamia sucesiva supone que toda la potencialidad de la variación genética contenida en la F1 se va a manifestar en las generaciones segregantes. En estas generaciones es donde deberán aparecer las líneas con el fenotipo óptimo buscado. En función de cuándo se seleccionan las plantas con las características deseadas se diferencian los distintos métodos planteados. Por ejemplo, con el método de pedigrí se aplica la selección desde la primera generación segregante (F2) y se realiza la selección de planta a parcela, con lo cual se puede conocer en cualquier momento la ascendencia de una planta (**Figura 1**).

Dentro de los factores que afectan la recombinación genética en la generación F2 se encuentran: número de genes en ambos parentales, número de alelos por locus, ligamiento de genes, diferencias estructurales en cromosomas.

La selección masal implica elección de las mejores plantas de un material determinado (selección individual) y la reunión o mezcla de toda la semilla que producen en conjunto. Este proceso se realiza en temporadas sucesivas, se basa en la observación del fenotipo de las plantas y se recomienda para mejorar poblaciones de plantas heterogéneas, en donde de una temporada a otra avanzan las progenies con mejor comportamiento para los caracteres de interés. La selección masal resulta exitosa cuando existe acción génica aditiva, en donde varios genes tienen acción acumulativa sobre un determinado carácter. Al agotar la variabilidad aditiva se puede considerar la hibridación, pudiendo ser intraes-

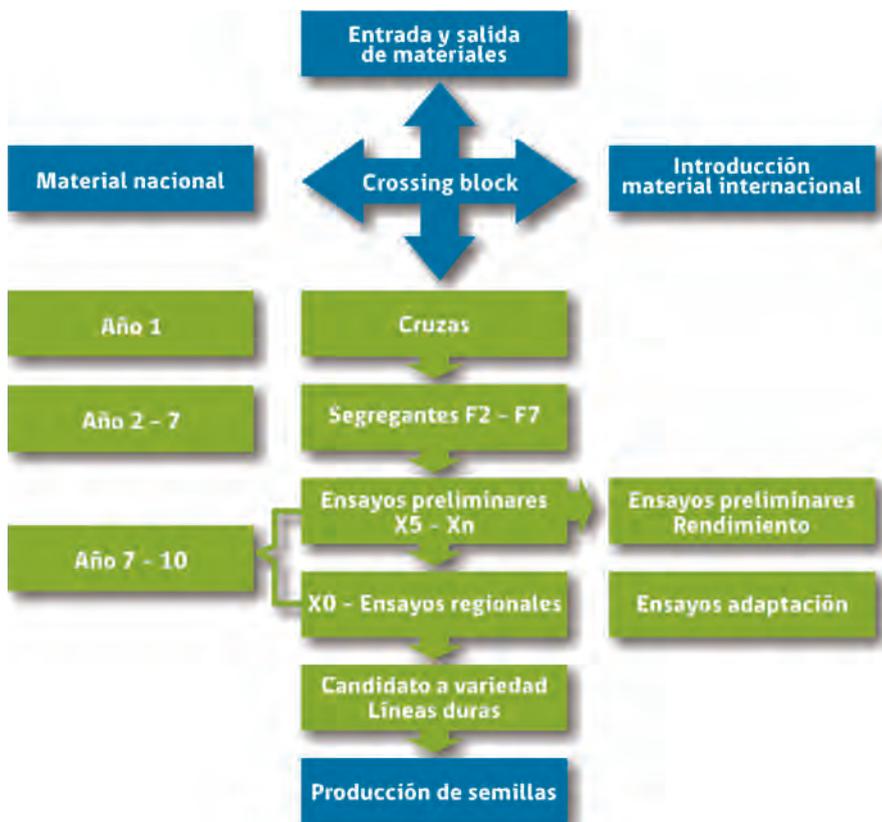


Figura 1. Esquema general de un programa de mejoramiento genético para una especie autógama.

pecífica o interespecífica. Se busca fundamentalmente recombinar caracteres favorables presentes en diferentes genotipos en un solo genotipo. Producto de esta metodología se empleó en Bolivia y se obtuvo la variedad Sayaña que tiene como progenitores a la variedad Sajama (*Chenopodium quinoa*) por Ajara (*Chenopodium carnosolum*) (Bonifacio y Gandarillas, 1992). En especies en proceso de domesticación o de domesticación reciente como la quínoa, este método es el primer paso para estabilizar una “landraces” o variedad criolla; manteniendo las características deseadas de estos materiales y eliminando los indeseados. La primera selección del mejoramiento de una especie autógama heterogénea es la elección de los tipos de interés; plantas fenotípicamente superiores para un determinado carácter, y la eliminación de plantas fuera de tipo. Esta fase se

realiza idealmente en floración cuando el tipo agronómico puede apreciarse de mejor forma. Cualquiera de los métodos puede generar resultados similares, lo importante es manejar el cultivo de forma óptima para observar las diferencias entre genotipos. En quínoa se ha utilizado caracteres como: altura de planta, color de planta y semilla, tamaño de grano, resistencia a enfermedades, contenido de saponina. Para lograr una selección exitosa, la variabilidad fenotípica debe ser amplia, al igual que la heredabilidad del carácter de interés, definiéndose como heredabilidad la capacidad de transmitir genes de una generación a otra. En las primeras etapas de selección, la ganancia de selección de un determinado carácter versus la respuesta de selección, tienden a ser directamente proporcionales. La selección masal permite actuar a la selección natural en caracteres de heredabilidad moderada a baja, establecidos en ambientes que favorezcan los genotipos destacados, donde la presión de selección depende del ambiente, donde predomina la selección visual a lo largo de las evaluaciones de los genotipos. Las principales variedades obtenidas por selección masal a la fecha son: Real (Bolivia), Dulce de Quitopamba (Colombia), Pasankalla, Chewecca, Blanca de Juli, Amarilla de Marangani, Blanca de Junín, Rosada de Junin y Blanca de Hualhuas (Perú) (Gómez-Pando, 2015).

Cuando ya se está en presencia de una variedad destacada, pero se desea incrementar la expresión de un rasgo cualitativo, como por ejemplo aumentar la resistencia a una determinada enfermedad o carácter asociado a calidad, se puede implementar el método de retrocruzamiento. Con esta técnica se cruzó la línea 1638 (padre donante, semillas rosadas, grandes y amargas) con Patacamaya (padre recurrente, semillas verdes y dulces). La F1 resultante observada fue de color rosado con semillas amargas. La F1 fue retrocruzado con Patacamaya, obteniéndose una progenie de color rosado con semillas grandes y dulces. (Bonifacio 2003).

Para mantener la diversidad genética y poder desarrollar nuevas variedades en el tiempo se debe conformar una colección núcleo; dicha colección se define como un conjunto de accesiones limitado que representa la diversidad de una especie de interés en un banco de germoplasma (Frankel y Brown, 1984).

Glosario

- **Auto-incompatibilidad:** incapacidad de una planta hermafrodita para auto-fecundarse.

- **Andro-esterilidad:** incapacidad de las plantas para producir anteras, polen o gametos masculinos funcionales.
- **Tetraploide:** presencia de cuatro juegos de cromosomas en el núcleo.
- **Hibridación y/o cruzamiento:** cruzamiento de dos individuos de la misma especie o variedad genotípicamente desigual.
- **Genotipo:** composición genética de un organismo constituida por todos sus cromosomas.
- **Germoplasma:** parte de un organismo vivo capaz de transmitir caracteres hereditarios, como semilla, tejido, tubérculo, yema, célula, polen, etc.
- **Alelo:** una, dos o más formas alternas de un gen que ocupan el mismo locus en un cromosoma.
- **Saponina:** grupo de glucósidos triterpenoides solubles en agua; poseen la capacidad de bajar la tensión superficial generando espuma abundante.

Referencias

- Bhargava, A., y S. Srivastava. 2013.** Quinoa: Botany, Production and Uses (A Bhargava y S Srivastava, Eds.). CABI.
- Bonifacio, A., y A. Gandarillas. 1992.** La nueva variedad de quínoa "Sayaña". Informe Anual. La Paz.
- Bonifacio A., L. Gómez-Pando, y W. Rojas. 2014.** Mejoramiento Genético de la Quinoa y el Desarrollo de Variedades Modernas. Capítulo 2.5. En: BAZILE D. *et al.*, (Editores), "Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 203-226.
- Bazile D., D. Bertero y C. Nieto. Eds., 2014.** "Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 724 pp (disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4042s/index.html>).
- FAO. 2016.** FAOSTAT. 2016. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.

- Frankel, O.H., y A.H.D. Brown. 1984.** Current plant genetic resources - a critical appraisal. Proc. XV Int. Congr. Genet. 4 (September): 1-13.
- Fuentes, F., P.J. Maughan; E. R. Jellen. 2009.** Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinua, (*Chenopodium quinoa* Willd.). Revista Geográfica de Valparaíso, N° 42, p.20-33.
- Fuentes, F., D. Bazile, A. Bhargava, y E. A. Martínez. 2012.** Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. J. Agric. Sci. (August): 1-15. doi: 10.1017/S0021859612000056.
- Gómez-Pando, L. 2015.** Quinoa breeding. p. 87-107. En Quinoa: Sustainable production, variety improvement, and nutritive value in agroecological systems. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Mellado M. 2014.** Nociones básicas sobre genética y mejoramiento vegetal y animal. Revisión de antecedentes. Colección de libros INIA, N°29, 292 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu.
- Palomino G., Hernández L.T., Torres ED., (2008).** Nuclear Genome size and chromosome analysis in *Chenopodium quinoa* and *C. berlandieri* subsp *nuttalliae*. Euphytica 164:221-230.
- Peterson A., Jacobsen S., Bonifacio A., Murphy K. A Crossing Method for Quinoa. 2015.** Sustainability 7, 3230-3243.
- von Baer I., D. Bazile y E.A. Martínez. 2009.** Cuarenta años de mejoramiento de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Araucanía: Origen de La Regalona-B. Revista Geográfica de Valparaíso42: 34-44.
- Ward, S.M. 2000.** Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). F. Crop. Res. 68(2): 157-163. doi: 10.1016/S0378-4290(00)00117-9.
- Zurita-Silva A., F. Fuentes, P. Zamora, S-E. Jacobsen and AR. Schwember. 2014.** Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. Molecular Breeding 34:13-30.

Capítulo 3.

Aspectos de la fisiología del cultivo de la quínoa

Manuel Pinto C.

Ing. Agrónomo Dr.

mpinto@inia.cl

Introducción

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo con origen en la región andina de Sudamérica, siendo Bolivia en la actualidad, el país que posee la mayor superficie cultivada (Muñoz y Acevedo, 2002, Fuentes *et al.*, 2012). Durante las últimas décadas, este cultivo ha recibido una atención creciente debido a su valor nutricional (Vega-Gálvez *et al.*, 2010) y también por su adaptabilidad a ambientes con restricciones hídricas y salinas (Delatorre y Pinto, 2009). Actualmente, por la alta calidad nutricional de su grano y a la creciente demanda internacional por alimentos saludables, el cultivo de la quínoa ha experimentado una expansión sin precedentes hacia lugares con climas, suelos y largo de días muy diferentes a los de su lugar de origen. Esto habla de su gran adaptabilidad y aunque todavía es un cultivo subutilizado, se cree que en el futuro podría llegar a ser una de las principales especies alimenticias para el mundo. El desafío es entonces manejar esta expansión mundial de manera sostenible.

Fenología de la parte aérea de la quínoa

Los principales estados fenológicos de la quínoa aparecen resumidamente en el **Cuadro 1** y son los siguientes:

1. Emergencia

La quínoa es una planta epigea, es decir, a la germinación sus cotiledones emergen del suelo por elongación de hipocotilo, el cual puede presentar coloraciones rojizas. Si las condiciones del suelo son las adecuadas, las plántulas emergen del

Cuadro 1. Estados fenológicos de la quínoa.

Estado N° fenológico	Período (días después de siembra)	Descripción del estado	Comentarios
1 Emergencia	5-10	La plántula emerge del suelo, hojas cotiledonarias extendidas.	La quínoa es una planta epigea.
2 Crecimiento vegetativo	11-21 22-30 31-45	2.1. Aparición de dos hojas verdaderas. 2.2. Aparición del 1 ^{er} par de hojas verdaderas, senescencia de las hojas cotiledonarias. 2.3. Aparición del 3 ^{er} par de hojas verdaderas.	Período de rápido crecimiento radicular. Formación de brotes axilares. Plantas autótrofas. Plantas autótrofas.
3 Ramificación	45-50	Ramificación lateral profusa, las hojas cotiledonarias mueren y caen.	Inflorescencia inmadura no visible, protegida por hojas.
4 Crecimiento reproductivo	55 y 60 65-70 75-80 90-100	4.1. Inicio de la espiga, primer par de hojas verdaderas de color amarillento. 4.2. Espiga evidente entre hojas pequeñas del ápice de la planta. 4.3. Inicio de floración. 4.4. Plena flor.	Fuerte alargamiento y engrosamiento del tallo. En este estado existe emergencia de inflorescencias desde el ápice, las cuales están rodeadas de pequeñas hojas que cubren tres cuartos de la espiga. La inflorescencia del ápice principal se destaca claramente por encima de las hojas, notándose los racimos que se forman, individualmente observados en los racimos de yemas florales de forma individualizada. Las flores hermafroditas muestran sus estambres. 50% de flores abiertas en la inflorescencia principal.
5 Llenado de grano y madurez	100 - 130 130-160 160-180	5.1. Grano lechoso. 5.2. Grano pastoso. 5.3. Madurez fisiológica.	Los granos al apretarlos exudan un líquido lechoso. Los granos presentan una consistencia plástica. Granos con humedad entre 14 y 16%, granos resistentes a la presión de las uñas.

suelo a la semana de su siembra. La temperatura del suelo es un factor crítico para la determinación de la época de siembra. En la zona central de Chile, fechas óptimas se dan cuando durante el día en promedio, éstas no son inferiores a 15°C a 5 cm de profundidad.

2. Crecimiento vegetativo

Durante este estado, la planta pasa de su condición heterótrofa, totalmente dependiente de las reservas de los cotiledones, a su condición autótrofa, ahora dependiente de la fotosíntesis de sus hojas verdaderas. Se subdivide en los siguientes subestados:

- 2.1. Crecimiento heterótrofo a expensas de las reservas cotiledonares. La aparición de dos hojas verdaderas es evidente a las tres semanas después de la siembra. Durante este estado, la planta inicia además el rápido crecimiento de las raíces.
- 2.2. Desde los 22 a los 30 días posteriores a la siembra, se observa el inicio de la formación de brotes en la axila del primer par de hojas verdaderas. Las reservas de las hojas de los cotiledones se terminan y éstas se tornan amarillentas dando inicio a la autotrofía de la planta.
- 2.3. Desde los 31 a los 45 días después de la siembra, ya existen 3 pares de hojas verdaderas. Las plantas son completamente autótrofas.

3. Ramificación

Este estado ocurre aproximadamente entre los 45 y los 50 días después de la siembra. En éste se pueden apreciar unas ocho hojas verdaderas en desarrollo y hojas axilares hasta el tercer nudo. Las hojas cotiledonares caen y dejan la cicatriz en el tallo. También se inicia la primera inflorescencia, la que aparece envuelta por hojas.

4. Crecimiento reproductivo

Este estado va desde el inicio de la floración y hasta la aparición de la inflorescencia completamente formada y con sus flores en polinización activa. En este periodo se fija el número de granos que llegarán a la cosecha. Se divide en los siguientes subestados:

- 4.1. Inicio de la espiga: este subestado ocurre aproximadamente entre los 51 y los 60 días después de la siembra. El primer par de hojas verdaderas se pone amarillento. Durante este período se produce un fuerte alargamiento y engrosamiento del tallo.

- 4.2. Espigado: al inicio de este subestado, la inflorescencia principal se destaca claramente por sobre el follaje, presentándose como un gran racimo con racimos laterales más pequeños. Esta fase ocurre entre los 65 y 70 días después de la siembra.
- 4.3. Inicio de floración: las flores hermafroditas muestran sus estambres apicales. Esta fase ocurre entre los 75 y 80 días después de la siembra.
- 4.4. Antesis o plena floración: el 50% de las flores de la espiga están abiertas. Este subestado ocurre entre los 90 y 100 días después de la siembra. En el caso de existencia de espigas secundarias, éstas son más pequeñas y están abiertas en diferentes estados de floración dependiendo de su posición dentro de la planta.

5. Llenado de grano

Este estado va desde la floración y a la madurez fisiológica del grano. Es conocido como el de llenado del grano, ya que es cuando la planta fija la producción en masa de grano. Se divide en los siguientes subestados:

- 5.1. Grano lechoso: este subestado ocurre entre los 100 y los 130 días después de siembra. Los asimilados se transportan eficientemente desde las hojas a la espiga, favoreciendo el crecimiento de los granos por sobre el de otros órganos, en particular el crecimiento radicular. En este subestado, el grano está blando y al presionarlo con la uña, escurre un líquido lechoso.
- 5.2. Grano pastoso: este subestado ocurre entre los 130 y 160 días. El transporte de asimilados y agua decrece y la pérdida de agua por transpiración del grano inicia su desecamiento. En este subestado, el grano está plástico y al presionarlo con la uña, escurre una masa pastosa.
- 5.3. Madurez fisiológica: en este subestado, al presionar el grano con la uña, éste presenta fuerte resistencia a la presión. El contenido de humedad no sobrepasa el 14%. Este subestado ocurre entre los 160 y los 180 días después de la siembra.

Factores que afectan la fenología y el crecimiento de la quínoa

Un desarrollo fenológico equilibrado unido a un buen crecimiento de la planta, es esencial para la obtención de buenas cosechas. En esto la quínoa no es una excepción; varios son los factores que pueden afectar sus estados fenológicos, por ejemplo, bajas temperaturas del suelo a la siembra pueden retardar la

emergencia como el ulterior desarrollo de las hojas y la panícula. La falta de agua durante los primeros estados puede retardar el momento de la aparición de la inflorescencia, lo que a su vez producirá una prolongación del período de floración a madurez de grano. Este período es importante en la determinación del rendimiento final. Entre los factores ambientales que más afectan la fenología de la quínoa, está el fotoperíodo o el largo del día y los estreses hídrico y salino.

El fotoperíodo en quínoa

El fotoperíodo es un factor importante en el desarrollo de la quínoa, especialmente para determinar el inicio de la floración y, por lo tanto, la fecha de antesis y cosecha. De acuerdo con Bertero *et al.* (1999b), la quinua es sensible en mayor o menor grado al fotoperíodo en casi todas sus etapas fenológicas: emergencia; iniciación de flores; inicio de antesis y madurez fisiológica de las semillas. Sin embargo, de acuerdo con este mismo autor (Bertero *et al.* 1999a) varios cultivares de quínoa tienen una sub-etapa juvenil insensible al fotoperíodo. En éstos, la duración de esta fase se correlaciona negativamente con la latitud de origen. Es decir, a una mayor latitud de origen, más corta sería esta etapa.

En general, la quínoa ha sido clasificada preferentemente como una especie de día corto. Esto seguramente porque gran parte de los estudios se han hecho en procedencias de origen tropical y del altiplano andino. Así por ejemplo, se ha encontrado que los cultivares de quínoa ecuatoriana necesitan días cortos (Bertero *et al.*, 1999a; Bertero y Hall, 2000). Sin embargo, esta especie se ha adaptado a otras latitudes (Spehar y Santos Barros, 2005) lo cual explica la existencia de variaciones en la sensibilidad al fotoperíodo. Así, los cultivares del sur de Chile presentan fotoperíodo más largos que los del norte (Tejeda 2008) y esta variación ha hecho posible la obtención de variedades comerciales que en la actualidad están siendo cultivadas en latitudes mayores en el sur de Chile y en el hemisferio norte, en Europa y Estados Unidos.

En la quinua parece que un fotoperíodo largo aumenta el filocrono (tiempo entre la aparición de dos hojas sucesivas) (Bertero, 2001) y la duración de la fase reproductiva. Fotoperíodos que alarguen esta etapa podrían aumentar el rendimiento y la producción total de biomasa (Wahli, 1990; Tejeda 2008) a través de la inducción de una mayor duración del área fotosintéticamente activa del follaje como resultado de una degradación más lenta de la clorofila y por lo tanto, de un retraso de la senescencia de las hojas (Tejeda 2008).

Un fotoperiodo prolongado también puede afectar la composición química de las semillas de quinua. En efecto se ha mostrado que un fotoperiodo largo disminuye la cantidad total de proteína y saponinas de la semilla, pero aumenta la cantidad de carbohidratos (Tejeda 2008). Esto puede ser de gran importancia para controlar la calidad nutricional del grano de esta especie.

Los estreses abióticos

La importancia de la quinua no solo radica en el valor nutricional de su semilla, sino también en su extraordinario comportamiento ante condiciones adversas como la falta de agua, el exceso de sales en el agua y el suelo, las bajas temperaturas y los suelos pobres en nutrientes. Esto ha generado un gran interés científico por la especie, en particular por su desempeño bajo condiciones de estrés ambiental como el estrés hídrico y el salino (Muñoz y Acevedo, 2002, Delatorre y Pinto 2009).

El estrés hídrico

Las plantas de quinua se consideran altamente tolerantes al déficit hídrico (Jacobsen *et al.*, 2009, Razzaghi *et al.*, 2011). La respuesta de toda la planta al estrés hídrico implica, tras la percepción de falta de agua por las raíces, la activación de mecanismos de señalización entre las raíces y los brotes (Shinozaki y Yamaguchi-Shinozaki 1997, Jacobsen *et al.*, 2009). La principal molécula de este estrés es el ácido abscísico (ABA) (Hsiao 1973; Schachtman y Goodger 2008). En la quinua, la producción de ABA en la raíces es uno de los mecanismos utilizados para disminuir la turgencia de las células de guarda de los estomas disminuyendo, por esta vía, la tasa de transpiración de las hojas (Schachtman y Goodger 2008; Jacobsen *et al.*, 2009). Así, la disminución del contenido de agua del suelo va seguida de un cierre rápido de los estomas y como consecuencia de una disminución en la conductancia estomática (Jacobsen *et al.*, 2009). Esto a su vez provoca, una disminución del área foliar (Jacobsen *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2014) lo que finalmente redundará en una disminución de la altura y de la biomasa total de la planta (Jacobsen *et al.*, 2009).

En términos relativos, en quinua las hojas son los órganos más afectados por este estrés en comparación con brotes y raíces (Álvarez-Flores *et al.*, 2014) lo

que indica que la rápida disminución de la expansión foliar sería uno de los mecanismos de tolerancia a la sequía que este cultivo emplea. A su vez, las raíces serían los órganos que menos se afectan por este estrés, lo cual hace que bajo déficit hídrico, la relación Raíz/ Parte Aérea, en quínoa se incremente (Correa *et al.*, 2015).

El estrés salino

El estrés por exceso de sales en el agua y en el suelo, es uno de los problemas más importantes que está enfrentado la agricultura mundial. La necesidad creciente de ocupar suelos salinos para la producción de alimento, lleva a pensar en el uso de cultivos capaces de producirlos bajo tales condiciones. La quínoa es uno de los cultivos con mayor potencial para estos fines, dado que ha sido cultivado durante siglos por los pueblos nativos del desierto del norte de Chile, en donde los suelos es común que presenten conductividades eléctricas (EC) que superan los 10 dS m^{-1} (Delatorre *et al.*, 1995). Así los cultivares de esta zona del país podrían ser considerados dentro del grupo de plantas denominadas halófitas. En casos extremos, estas plantas pueden incluso soportar concentraciones de sales cercanas a la del agua de mar (400 mM de NaCl) mostrando efectos menores en su germinación y crecimiento. Por el contrario, las plantas glicófilas tienen bajos niveles de tolerancia al estrés por sales. Por ejemplo, un aumento en la salinidad de 0 a 180 mM de NaCl disminuye la germinación en un 50% en especies glicófilas típicas del género *Phaseolus* (Bayuelos *et al.*, 2002). Cultivares de quínoa adaptados a la zona lluviosa del sur de Chile, presentan una sensibilidad mayor al estrés por sales que aquellos adaptados a las condiciones del norte del país. Lo anterior debido a que la quínoa se caracteriza por su adaptabilidad a diferentes condiciones edáficas y de salinidad (Jacobsen *et al.*, 1999; Mujica *et al.*, 2001). Así, Karyotis *et al.* (2003) usando un cultivar de la región centro-sur de Chile, y por lo tanto, posiblemente adaptado a suelos con baja EC, observó que una conductividad superior a 6.5 dS m^{-1} redujo en 70% la germinación en estas accesiones respecto de accesiones del norte. Similares resultados fueron reportados por Delatorre y Pinto 2009. El contraste de la respuesta a la salinidad entre las selecciones del norte y sur de Chile es probablemente la consecuencia de las adaptaciones logradas a lo largo del tiempo por poblaciones que se desarrollaron aisladas unas de otras en condiciones ambientales muy diferentes. Esto ha inducido cierto grado de distanciamiento genético entre ambas poblaciones, segregándolas en dos grupos discretos. Esta segregación puede tener una gran implicancia para el desarrollo agrícola de la especie, en particular por la adap-

tabilidad que ha desarrollado a sus respectivos entornos (Fuentes *et al.*, 2005, 2008). Así, Delatorre y Pinto (2009) concluyen que las poblaciones de quinua del norte de Chile están más cerca del grupo de las plantas halófitas o halófitas facultativas (Bosque *et al.* (2003), mientras que aquellas del sur podrían estar más cerca del grupo de las glicófitas.

El sistema radicular de la quínoa

La arquitectura de la raíz es uno de los factores más importantes para determinar la capacidad de una planta para explorar el suelo (Lynch, 1991). En este sentido, la literatura acepta dos tipos extremos de arquitectura de raíz: el patrón de “espina de pescado” con una sola raíz principal y varias laterales de un orden; y el patrón “dicotómico” donde todos los enlaces externos forman nuevas ramas de segundo, tercer... etc. orden con la misma probabilidad (Glimskär, 2000). Entre estos dos tipos se pueden formar tipos intermedios dependiendo de las condiciones de textura, oxígeno, agua y nutrientes de los suelos (Fitter, 1986, Fitter y Stickland, 1991; Glimskär, 2000).

De acuerdo con Álvarez *et al.* (2014) la quínoa poseería un sistema radicular del tipo “espina de pescado” con un eje central pivotante, del cual salen ramificaciones de primer orden. Bajo una condición favorable de textura de suelo y agua, la raíz principal puede alcanzar fácilmente los 60 cm de profundidad. Bajo condiciones de déficits extremos de agua y nutrientes, la quínoa tiende a favorecer aún más el patrón de “espina de pescado”, de manera de ser capaz de explorar más profundamente el suelo, en especial durante los primeros estados de desarrollo. Esto explica el por qué los ecotipos de la zona árida del norte de Chile poseen sistemas radiculares de crecimiento mayor y más profundizadores que los de aquellas variedades mejoradas para climas templados como Atlas o Río Bamba, que muestran patrones más cercanos al de tipo “dicotómico” o el de aquellos ecotipos evolucionados en suelos más fértiles y sin déficit hídrico de la zona centro-sur de Chile como las accesiones Cahuil y Moradas (Correa *et al.*, 2015). Sin embargo, en zonas desérticas costeras donde el agua en el suelo es escasa, pero existe abundante neblina por la mañana, al parecer la quínoa también favorecería el patrón “dicotómico” con raíces laterales superficiales, en este caso destinadas a absorber el agua superficial del rocío matinal (Martínez *et al.*, 2009).

Consideraciones finales

Sin duda que el estudio de la fisiología de la quínoa ha contribuido positivamente al mejor conocimiento de esta especie y al de su potencial para adaptarse a los más variados climas y condiciones edáficas. Sin embargo, existe aún bastante desconocimiento sobre aspectos fisiológicos claves para mejorar su cultivo así como para su mejora genética. Por ejemplo, se sabe poco sobre el transporte de asimilados y los procesos que controlan el índice de reparto y el tamaño de sus granos. Un aspecto clave para la industria. Tampoco se ha avanzado mucho en el conocimiento de su arquitectura tanto aérea como radicular, o de su eficiencia fotosintética. En particular no se sabe mucho de esta eficiencia bajo condiciones de estrés nutricional. En efecto, son pocos los estudios sobre la eficiencia en el uso del nitrógeno o del fósforo en esta especie. Por último, gran parte de la adaptabilidad que posee la quínoa a diferentes condiciones ambientales, creemos se debe a sus sistema radicular del cual se sabe muy poco.

Referencias

- Álvarez-Flores R., Winkel T., Degueldre D., Del Castillo C., Joffre R. 2014.** Plant growth dynamics and root morphology of little-known species of *Chenopodium* from contrasted Andean habitats. *Botanique* 92 (2): 101-108. doi:10.1139/cjb-2013-0224.
- Bayuelos, J., R. Craig, and J. Lynch. 2002.** Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.* 42:1584-1594.
- Bertero, D., 2001.** Effects of photoperiodism, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in Quinoa (quinoa Willd.) Under field conditions. *Annals of Botany* 87: 495-502.
- Bertero, D. and Hall, A., 2000.** Response development processes to temperature and photoperiod in Quinoa. Available at: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.7.htm>. Revised November 20, 2006.

- Bertero, D., King, R., and Hall, A. 1999a.** Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Field Crop Research* 63:19-34.
- Bertero, D., King, R., and Hall, A. 1999b.** Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Field Crop Research* 60: 231-243.
- Bosque, H., P. Lemeur, P. Van Damme, and S.E. Jacobsen. 2003.** Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Rev. Int.* 19(1-2):111-119. doi: 10.1081/FRI-120018874.
- Correa, J., Pstrong, P., Pinto, F., Ruf K., Matus I., Fiorani F., Nagel K. y Pinto M. 2015.** Root architecture phenotyping of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) accessions. Abstract Proceeding of the Rhizosphere 4 Conference, Maastricht, The Netherlands, Jun 2015.
- Delatorre, J., J. Arenas, y H. Campos. 1995.** Comparación morfológica de nueve ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa*) recolectados en el altiplano de la provincia de Iquique. *Agricultura del Desierto* (1):5-14.
- Delatorre-Herrera J., Pinto M. 2009.** Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Selections. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(4):477-485. doi.org/10.4067/S0718-58392009000400001.
- Dwivedi, S. L. Nigam, S.N., and Nageswara Rao, R.C. 2000.** Photoperiod effects on seed quality traits in Peanut. *Crop Science* 40:1223-1227.
- Fitter AH. 1986.** The topology and geometry of plant root systems: influence of watering rate on root system topology in *Trifolium pratense*. *Ann Bot* 58(1): 91-101.
- Fitter y Stickland. 1991.** Fitter AH, Stickland R (1991) Architectural analysis of plant root systems 2. Influence of nutrient supply on architecture in contrasting plant species. *New Phytologist* 118(3): 383-389. doi: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00019.

- Fuentes, F., E. Martínez, J. Delatorre, P. Hinrichsen, E. Jellen, y J. Maughan. 2005.** Diversidad genética de germoplasma chileno de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando marcadores de microsatélites (secuencias simples repetidas, SSR). *In: Resúmenes de XXII Congreso Internacional de Cultivos Andinos*, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.
- Fuentes, F., E. Martínez, P. Hinrichsen, E.N. Jellen, and P.J. Maughan. 2008.** Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conserv. Genet.* doi: 10.1007/s10592-008-9604-3.
- Fuentes F, Bazile D, Bhargava A, Martínez EA. 2012.** Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science* 150(6): 702-716. doi: 10.1017/S0021859612000056
- Glimskär A. 2000.** Estimates of root system topology of five plant species grown at steady-state nutrition. *Plant and Soil* 227(1-2): 249-256. doi: 10.1023/A:1026531200864.
- Hsiao TC. 1973.** Plant Responses to Water Stress. *Annu Rev of Plant Phys* 24: 519-570. doi: 10.1146/annurev.pp.24.060173.002511.
- Jacobsen, S.E., and A.P. Bach. 1998.** The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Sci. Technol.* 26:515-523.
- Jacobsen, S-E, E. Ruiz, A. Mujica, J.L. Christiansen, y R. Ortiz. 1999.** Evaluación de accesiones de quinua para tolerancia a salinidad. 131 p. *In: Jacobsen, S.-E., and A. Valdez (eds.) Primer Taller Internacional sobre Quinoa - Recursos Genéticos y Sistemas de Producción, Libro de Resúmenes.* 10-14 mayo. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú.
- Jacobsen S-E, Liu F, Jensen CR. 2009.** Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Sci Hortic* 122(2): 281-287. doi:10.1016/j.scienta.2009.05.019.

- Karyotis, T., C. Iliadis, C. Noulas, and T. Mitsibonas. 2003.** Preliminary research on seed production and nutrient content for certain quinoa varieties in saline sodic soil. *J. Agron. Crop Sci.* 189(6):402.
- Kosol, J., 1990.** Chemical composition. *In:* Wahli, C. (Ed). *Quinoa: Towards commercial cultivation.* Latinreco S.A. Quito. Ecuador. 137-161.
- Lynch J. 1995.** Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol* 109: 7-13. doi:10.1104/pp.109.1.7.
- Martínez E. A., Veas E., Jorquera C., San Martín R y Jara P. 2009.** Re-Introduction of Quinoa into Arid Chile: Cultivation of two lowland Races under extremely low irrigation. *J. Agronomy & Crop Science* ISSN 0931-2250.
- Mujica, A., S-E. Jacobsen, J. Izquierdo, y J.P. Marte. 2001.** Resistencia a factores adversos de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro. p. 162- 183. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno, Centro Internacional de la Papa (CIP), Santiago, Chile.
- Muñoz, R., and Acevedo, E., 2002.** Evaluation of potential yield and low water stress of 11 genotypes Quinoa (quinoa Willd). Lab Relationship ground-water-plant. Faculty of Agricultural University of Chile. 46 p.
- Navruz-Varli S. y Sanlier N. 2016.** Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science* 69 371 - 376.
- Razzaghi F, Ahmadi SH, Adolf VI, Jensen CR, Jacobsen S-E, Andersen MN. 2011.** Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *J Agron Crop Sci* 197(5): 348-360. doi: 10.1111/j.1439-037X.2011.00473.
- Schachtman DP, Goodger JQ. 2008.** Chemical root to shoot signaling under drought. *Trends Plant Sci* 13(6):281-287. doi: 10.1016/j.tplants.2008.04.003.
- Shinozaki K, Yamaguchi-Shinozaki K. 1997.** Gene Expression and Signal Transduction in Water-Stress Response. *Plant Physiol* 115(2):327-334. doi: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.115.2.327>.

- Spehar, C., and Barros Santos, R., 2005.** Agronomic performance of Quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agricultura Brasilia* 40:609-612.
- Sun Y, Liu F, Bendevis M, Shabala S, Jacobsen S-E. 2014.** Sensitivity of two quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *J Agron Crop Sci* 200(1): 12-23. doi: 10.1111/jac.12042.
- Tejeda J. C. 2008.** Efecto del fotoperiodo sobre la producción de semillas de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Tesis M. Sc. Univ.de Chile , 30p.
- Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez EA. 2010.** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *J Sci Food Agric*90(15):2541-2547. doi: 10.1002/jsfa.4158.
- Wahli, C., 1990.** Quinoa: Towards commercial cultivation. Latinreco S.A. Quito. Ecuador. 205p.
- Ward, S. 2000.** Response to selection for reduced grain saponin content in Quinoa (quinoa Willd). *Field Crop Research* 68: 157-163.

Capítulo 4.

Preparación de suelos para el establecimiento de quínoa

Jorge Carrasco J.

Ing. Agrónomo Dr.
jcarrac@inia.cl

Jorge Riquelme S.

Ing. Agrónomo Dr. Mg.I.A.
jriquelme@inia.cl

Kurt Ruf

Ing. Agrónomo.
kurt.ruf@inia.cl

La preparación de suelos para la siembra de la quínoa es una labor necesaria para alcanzar un buen establecimiento. Esto es importante si se trata de localizar en el suelo una semilla de tamaño pequeño, como es el caso de este cultivo.

Lo anterior hace necesario seleccionar la maquinaria apropiada para la preparación del suelo, que permita establecer el cultivo en condiciones adecuadas. Ya que, el uso inadecuado de un equipo agrícola, puede causar daño al suelo y no conseguir condiciones favorables para el desarrollo del cultivo. Por esto es preciso conocer los problemas derivados de la preparación de suelos y los equipos involucrados, para hacer más eficiente las labores, sin afectar las propiedades de éstos.

En general, si se hace un análisis global de cómo se preparan los suelos en la zona central de Chile, se puede establecer que, en la mayoría de los casos, se efectúa un excesivo número de labores, lo que va asociado a problemas de compactación y de erosión del suelo, por lo cual se puede llegar a generar un mayor costo de producción del cultivo.

La preparación de suelos tradicional, involucra la remoción del mismo con maquinaria o herramientas de labranza, con lo que se modifican las propiedades físicas, siendo afectada principalmente la estructura.

Algunos autores señalan que la estructura del suelo es el estado de agregación de las partículas primarias del suelo, que incluye a las arenas, limo, arcillas; o secundaria, que contiene a los agregados o unidad estructural. Existen agentes físicos, químicos y biológicos que participan en el desarrollo de las uniones, que forman los agregados, actuando como cementantes de las partículas de suelo, entre los cuales se encuentra principalmente la materia orgánica.

La preparación de los suelos depende de una serie de factores, como son el tamaño de la semilla del cultivo a establecer, de la maquinaria disponible, del tipo de suelo, humedad del mismo, rastros de cultivos previos, tipo y cantidad de malezas presentes, condiciones climáticas e incluso de la calidad y eficiencia del operador.

Efecto de la labranza en las propiedades físicas del suelo

En la preparación de suelos con arados y rastras, se producen cambios en las propiedades físicas, porque se modifican las condiciones del mismo en la profundidad de la labor. Si las labores se realizan con un grado de humedad excesiva y equipos inadecuados, los cambios pueden ser negativos, tanto para el suelo como para el cultivo. Entre los cambios negativos del suelo están el daño de su estructura y aumento del grado de compactación del mismo.

Esto significa que el agricultor debe elegir el método más apropiado para su situación particular, de acuerdo a la disponibilidad de maquinaria agrícola (arados y rastras), a las condicionantes de suelo como textura (porcentaje de arena, limo y arcilla), humedad, rastros, además de tipo de malezas presentes, entre otras.

La aireación del suelo, asociada a los poros del mismo, es importante para decidir el grado de mullimiento, o acto de deshacer los terrones, en la labor de labranza. Con la aradura se aumenta el volumen de poros, por lo cual mejoran las condiciones de movimiento de aire en el suelo. Sin embargo, el laboreo excesivo con arados y rastras, destruye la agregación del suelo, es decir reduce el tamaño de los terrones y con ello el volumen de poros del mismo, alterando la infiltración del agua y difusión de gases, lo que implica ingreso de oxígeno y salida de dióxido de carbono. Por otro lado, al existir mayor escorrentía superficial de las aguas lluvias o de riego tradicional, se producen serios problemas de erosión por efecto de arrastre de partículas de suelo.

La compactación de los suelos

Existen dos tipos principales de compactación la primera es de origen morfológico, es decir de formación de suelos, que resulta de una acción lenta y continua de los procesos de formación y estructuración del suelo, formándose finalmente un horizonte que impide la penetración de raíces y agua, denominada por algunos autores como “duripan” y “fragipan”.

El fragipán consiste en horizontes muy compactos, que se originan a partir de materiales volcánicos, con densidad de masa alta y cierta fragilidad, que permite su ruptura con equipos de labranza. Por otro lado, el duripán es más duro que el fragipán, es cementado y restringe el manejo del suelo; por esta última condición es más difícil romperlo con arados y rastras.

El segundo tipo de compactación de suelos tiene una causa diferente; donde en el suelo se origina un horizonte de impedimento físico, conocido como “pie de arado”, que es consecuencia de tres fuerzas que actúan sobre el suelo: gravedad, humedad (lluvia o riego) y, especialmente, por el tránsito de maquinaria y animales. Este horizonte endurecido alcanza su grado de compactación más alto al nivel de la profundidad de trabajo de los arados y rastras, es decir, si la profundidad de trabajo de un arado de vertedera o discos, por ejemplo, es de 25 cm, es a partir de esa profundidad donde se produce el mayor grado de compactación.

En la labor de aradura con arados de disco o vertedera, para soportar las fuerzas laterales que ejerce el arado en el terreno, comúnmente se trabaja con la rueda delantera y trasera de un lado del tractor, en el interior del último surco de inversión que va quedando en la labor. Por ejemplo, si la profundidad de la aradura es de 25 cm, las ruedas indicadas se desplazarán a esa profundidad en el último surco de inversión, por lo cual en esa profundidad se va generando un efecto de compactación por el paso de las ruedas, que se suma al efecto compactador del arado al cortar un prisma de suelo a esa profundidad, ya que con el corte origina una presión importante hacia abajo, originando la compactación de suelos.

De acuerdo con lo señalado, es así como se origina el problema de pie de arado; primero por el efecto de corte del arado a la profundidad de la labor, y en forma casi simultánea, por el tránsito de las ruedas de un lado del tractor en el interior del surco de aradura.

El concepto anterior es muy importante si consideramos que un agricultor que realiza labores de aradura con equipos tradicionales y propios, como son los arados de vertedera y discos, compactará año a año su suelo si trabaja a la misma profundidad.

Labranza y el contenido de humedad del suelo

La humedad es uno de los factores más importantes en las labores de preparación de suelo, ya sea en su etapa inicial de aradura en la rotura del suelo, como en el afinamiento de la cama de siembra. La humedad, cuando es excesiva, le confiere características de plasticidad al suelo, que lo hace adherirse a los implementos de labranza dificultando su acción, siendo esto más complicado en los suelos arcillosos. En suelos muy húmedos se afecta la tracción al aumentar el patinaje, y con ello crecen los requerimientos de potencia. Un suelo seco o con un bajo contenido de humedad es duro y cohesivo, debido al efecto de cementación de las partículas secas, lo que lo hace muy difícil de romper con arados y rastras, por lo cual se afecta la vida útil de estos equipos.

La consistencia friable representa la condición óptima de humedad para realizar labores de preparación de suelos. En la práctica, la condición friable se reconoce al tomar una muestra de suelo con la mano y conseguir que éste se disgregue fácilmente al ser presionado por los dedos, sin dejar restos adheridos en ellos. Un suelo muy húmedo se adhiere a la mano, incluso se puede moldear, en el caso opuesto se forman terrones que cuesta disgregarlos. Esto último es más evidente en el caso de los suelos arcillosos.

Un suelo con la humedad cercana y superior a la capacidad de campo es mucho más susceptible a ser compactado con los equipos de labranza, que uno con un contenido de humedad inferior a capacidad de campo.

Labores de preparación de suelos

Las labores de preparación de suelos se dividen en labranza primaria y secundaria. La primaria corresponde a la aradura y su objetivo básico es remover y soltar el

suelo a profundidades mayores a 15 cm ,para facilitar la siembra y/o plantación de un cultivo, establecer y desarrollar las raíces de las plantas y facilitar la circulación de agua y el movimiento de oxígeno y anhídrido carbónico (CO₂) a nivel de las raíces de las plantas. La secundaria, que corresponde a los rastrajes, tiene por función controlar malezas, incorporar residuos vegetales, incorporar enmiendas orgánicas y fertilizantes, además de romper el sellamiento superficial del suelo que se pueda originar después de una lluvia.

Labranza primaria

La labranza primaria puede realizarse de tres formas. La primera, invirtiendo la superficie trabajada; la segunda, moviendo capas de suelo sin alterar el perfil; la tercera mezclando el perfil del suelo. En este capítulo sólo se tratarán los dos primeros, por no ser habitual el uso de arados que mezclan el perfil del suelo, como los rotativos, en la producción de quínoa.

Los equipos utilizados con este propósito son los arados, los que de acuerdo a su diseño sueltan el suelo invirtiéndolo, mezclándolo o no alterando su perfil.

- 1. Araduras que invierten el perfil del suelo.** Los arados de disco y vertedera son los implementos de labranza más utilizados. Los dos equipos difieren en la calidad de la labor. No obstante cumplir con la inversión de suelos, la calidad de la labor difiere fundamentalmente en la calidad de inversión, mullimiento y nivelación posterior del suelo.
- 2. Equipos que no alteran el perfil del suelo.** Los arados cinceles y “escarificadores” subsoladores, producen grietas en el suelo y permiten dejar rastros del cultivo anterior sobre la superficie del terreno arado. Ambos equipos se diferencian en la profundidad de trabajo y en el número de unidades de rotura. Este tipo de trabajo requiere suelos relativamente secos, que se consiguen en los meses de verano y otoño, para que se produzcan las grietas y el efecto “resquebrajador” deseado. El arado cincel trabaja en forma óptima a profundidades no mayores a los 30 cm. A mayores profundidades es más efectivo el arado “escarificador” subsolador, si se trata de romper capas compactadas. Este último trabaja en forma eficiente entre los 30 y 40 cm, por lo cual es más efectivo para romper problemas de “pie de arado”.

1. Araduras que invierten el perfil del suelo

1.1. El arado de vertederas

El arado de vertederas ha sido durante muchos años la herramienta básica del laboreo convencional (**Figura 1**). Corresponde a uno de los equipos que invierte el perfil del suelo, labor que efectúa eficientemente al separar una capa de terreno del subsuelo adyacente, pulverizarlo parcialmente, elevarlo e invertirlo. Por ello, es un implemento que ha sido de uso masivo en el mundo.



Figura 1. Arado de vertedera; equipo de labranza adecuado para la incorporación de rastrojos de cultivos.

Descripción y funcionamiento

El arado de vertedera se compone de cuatro elementos fundamentales: la vertedera, la reja, la cuchilla integrada y la punta intercambiable como se aprecia en la **Figura 2**. La reja es la parte más importante del arado, porque es la que inicia el corte horizontal del volumen de suelo a invertir. La vertedera realiza el volteo de la banda de suelo cortada por la reja. La cuchilla, que puede faltar, ayuda al corte vertical de la banda de suelo sobre la que actúa el arado.

El arado de vertedera profundiza por la acción que se origina en la punta de la reja. Ésta posee una curvatura hacia abajo y hacia el terreno no arado, que produce una tendencia a profundizar y, a la vez adherirse a la pared del surco, que



Figura 2. Elementos del arado de vertedera (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España, 2008).

se define como succión vertical y succión horizontal. Esto último permite que el arado trabaje a una profundidad más homogénea, si se compara con un arado de discos, significando una reducción de problemas de pérdida del microrelieve del terreno arado.

La profundidad de intervención del arado debe estar comprendida entre el 60 y el 80% de la anchura de corte de la reja. Esta anchura se mide perpendicularmente a la dirección de avance.

Ventajas y limitaciones

Las ventajas más destacables de este arado son las siguientes:

- Presenta regularidad en la profundidad de trabajo y logra un buen control sobre la inversión del prisma del suelo, manteniendo con ello el microrelieve del terreno.
- Si se trabaja el suelo con una condición de humedad en estado friable, se consigue un perfecto mullimiento del suelo.
- Realiza una buena inversión del suelo, llegando a un 90% de eficiencia en la labor, lo que facilita una buena descomposición de los residuos vegetales que pueden estar presentes al momento de la aradura.

No obstante lo anterior, el arado de vertedera presenta algunas limitaciones:

- No trabaja bien si el suelo posee una humedad por debajo o por sobre la del estado friable. Lo señalado está muy asociado con la textura del suelo, porque en la medida que la textura se hace más arcillosa es fundamental trabajar el suelo en estado friable. Esto porque a mayores contenidos de humedad, el suelo tiende a adherirse a la vertedera del arado, haciendo ineficiente la labor de inversión, además de aumentar los riesgos de producir problemas de compactación subsuperficial en el terreno, como lo es el pie de arado. Cuando el suelo está con un contenido bajo el estado friable se producen terrones muy grandes, dada su elevada cohesión. Sin embargo, existen diferentes diseños de vertedera, que se pueden adaptar a distintas condiciones de trabajo y humedad de suelo, como la vertedera “alistonada” que se muestra en la Figura 1, la cual permite trabajar suelos arcillosos húmedos en forma más eficiente.
- El suelo debe ser compacto para permitir un buen corte e inversión. Este arado no funciona bien en suelos arenosos, ya que la vertedera sólo se limita a desplazar el suelo sin invertirlo.
- Su labor de inversión del terreno e incorporación de todo material vegetal de la superficie, puede afectar negativamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y con ello la estructura del suelo. Cuando la superficie del suelo queda descubierta, se favorecen los procesos erosivos por efecto de la lluvia.

1.2. El arado de discos

Los arados de discos son implementos de labranza primaria utilizados para realizar la rotura inicial del suelo (**Figura 3**). Su trabajo es similar al de los arados de vertedera: cortan, invierten y mullen el terreno a profundidades superiores a 20 cm.

Descripción y funcionamiento

En Chile, fundamentalmente se utiliza el arado de disco integral, acoplado por el enganche de tres puntos al tractor y sostenido por éste durante el transporte.

El implemento corta el suelo y los rastrojos, invirtiéndolos y mezclándolos. El arado de discos, a diferencia del de vertedera, penetra en el terreno por peso, por lo cual no existe succión alguna. Para conseguir la profundidad de suelo desea-



Figura 3. Arado de discos, implemento de labranza primaria para la inversión de suelos.

da, se requiere un ajuste del ángulo de “ataque” del disco y un abundante peso del armazón o estructura del arado (generalmente de 150 a 500 kg por disco).

Ventajas y limitaciones

Las ventajas más destacables de este arado son las siguientes:

- A diferencia del arado de vertedera, en el terreno con presencia de obstáculos ocultos, como troncos o piedras, puede rodar sobre ellos sin sufrir daños o roturas que significan pérdidas de tiempo y dinero. En suelos arcillosos y húmedos, realiza una aceptable labor de aradura, de mejor calidad que los arados de vertedera, en la medida que los discos se encuentran limpios y regulados.
- Efectúa un adecuado trabajo en superficies con exceso de cubierta vegetal, al picarla e incorporarla.
- Con algunas limitantes, invierte de manera adecuada suelos secos o húmedos en exceso, donde la labor con un arado de vertedera se haría ineficiente.
- Para facilitar el corte del suelo, los discos van afilados en el borde.

Las limitantes más importantes son:

- Su empleo por operadores inexpertos tiende a agravar la desnivelación del terreno, porque significaría un mayor número de rastros para corregir la labor de aradura, por lo cual se verá más afectada la estructura del suelo.
- Desde el punto de vista de la inversión de rastros del cultivo anterior, el grado de inversión puede llegar a sólo un 60 por ciento al obtenido con el arado de vertederas.
- El peso del arado, al ser levantado a la posición de transporte por el tractor, reduce la estabilidad del mismo y daña su sistema hidráulico.
- Al cortar el suelo, favorece la propagación de malezas de reproducción vegetativa, como chéptica (*Cynodon dactylon*), Maicillo (*Sorghum halepense*), y Zarzamora (*Rubus ulmifolius*).
- A diferencia del arado de vertedera, el arado de discos entra al suelo por peso, por lo cual lo compacta más.

2. Araduras que no alteran el perfil del suelo. Aradura vertical

2.1. El arado cincel

Es un tipo de arado que opera a profundidades menores a los 30 a 35 cm, incrementando con ello la porosidad en el subsuelo, sus condiciones estructurales y la capacidad de retención de humedad (**Figura 4**). En la actividad agrícola, cuando el suelo se compacta a una profundidad sobre los 25 a 30 cm, debido al uso de arados de vertedera o discos, que generan pie de arado, conviene efectuar una labor de “estallamiento”, o sea romper, quebrar y abrir el suelo.

En el caso del establecimiento del cultivo de la quínoa, es recomendable arar el terreno con un arado cincel o un arado “escarificador” subsolador, con el objeto de prevenir futuros problemas originados por la existencia de una capa compactada presente en el suelo, que pudiese haberse originado por el uso continuo de arados de vertedera o disco en temporadas pasadas. Esta capa compactada



Figura 4. Arado cincel, equipo que rompe y suelta el suelo sin invertirlo ni mezclarlo.

impide una adecuada infiltración del agua, afectando con ello el crecimiento normal de raíces de la especie a establecer.

Los arados de disco o vertedera, por su forma de operación, provocan en el suelo una compactación subsuperficial o pie de arado.

Ventajas de su uso

- Facilita la penetración del agua en el perfil de suelo y mejora considerablemente el drenaje del suelo.
- Rompe suelo compactado, mejorando la circulación de aire y CO₂ en el suelo.
- Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.
- No desnivela el terreno.
- No requiere de operadores expertos.
- Permite la presencia de rastrojos sobre la superficie, por lo cual reduce procesos erosivos por impacto de las gotas de lluvia y escorrentía superficial del agua.

2.2. El subsolador

Es una herramienta que realiza la labor de remover y soltar el suelo a profundidades mayores a 30 centímetros, por lo que en el caso de problemas de compactación a esas profundidades y que no puedan ser solucionadas con el arado cincel, es la mejor alternativa. El subsolador, además de operar a profundidades mayores a las del arado cincel, permite que el agua infiltre en el perfil del suelo, mejorando la capacidad de retención de humedad de éste, factor clave sobre todo cuando el cultivo se establecerá en condiciones de secano.

El subsolado puede tener requerimientos muy altos de potencia del tractor, especialmente si se trata de suelos muy compactados o que la labor deba hacerse a gran profundidad. Estos requerimientos se traducen en la necesidad de emplear un tractor, con una potencia superior a los 100 Hp al motor, llegando a superar los 110 Hp si trata de equipos con más de un subsolador o brazo, como el caso de los arados escarificadores (**Figura 5**).



Figura 5. Arado subsolador escarificador de 5 puntas; equipo recomendado para labores de preparación de suelos primaria en el cultivo de la quínoa.

Labranza secundaria

El objetivo de estas labores es preparar la zona de semillas, mediante el uso de diversos tipos de rastras y rodillos. El mullimiento del suelo y el control de malezas debe ser el suficiente para asegurar un buen establecimiento del cultivo de quínoa.

El mullimiento del suelo debe ir de acuerdo con el tamaño de la semilla de quínoa a establecer, por lo cual se debe evitar una labor excesiva. Éste es importante para conseguir un íntimo contacto del suelo con la semilla, y así permitir el intercambio de temperatura y humedad indispensable para una buena germinación de la misma.

En las labores secundarias es fundamental cuidar la humedad del suelo, porque afectará directamente la formación de terrones, lo que dificultaría una buena emergencia de la semilla de quínoa, provocando la reducción de población de plantas. En general, en la actividad agrícola, los terrones no existen en forma natural en el suelo, porque son el resultado de una mala labor de preparación de suelos realizada por el hombre.

Lo anterior es muy importante, ya que incide directamente en los costos de producción, además de afectar el recurso suelo, porque un suelo “terronudo” obliga al agricultor a realizar un excesivo número de rastrajes.

Para evitar la formación de terrones, se recomiendan las siguientes medidas:

- a) Arar y rastrear en el momento oportuno, en relación al porcentaje de humedad del suelo. Si la labor se realiza al estado friable, bastaría un solo rastraje para conseguir el mullimiento deseado.

En algunos casos, para evitar pérdidas de humedad del suelo en la aradura, que pueda afectar las labores de rastraje y generar problemas de exceso de terrones, es recomendable realizar ambas labores en forma simultánea. Es decir, detrás del tractor y el arado trabajando, ir realizando la labor de rastraje con otro tractor.

- b) Usar rastrones de madera detrás de la rastra de discos, para “planchar” el suelo. De esta forma se ofrece una menor superficie de contacto al sol y viento.

Control de malezas. La eliminación de las malezas es uno de los principales objetivos de la preparación de suelos, y en especial de las labores secundarias, para el establecimiento de todo tipo de semilla. Lo ideal es realizar primero una labor de rastraje profundo, a continuación un segundo a menor profundidad que el primero, y posteriormente un tercero a menor profundidad que el segundo, así no se mueve semillas de malezas enterradas que se puedan llevar hacia la superficie del terreno. En este caso es más conveniente utilizar un vibrocultivador o una rastra de clavos liviana, si se trata de un rastraje más superficial.

1. Equipos

1.1. Rastra de discos

La rastra de discos, ampliamente utilizada por los productores (**Figura 6**), presenta tres inconvenientes fundamentales en la labor de preparación de suelo. El primero y más importante es el de multiplicador de malezas de reproducción vegetativa, porque su uso facilita la infestación del terreno al cortar trozos que dan origen a nuevas plantas. El segundo, es el de provocar desnivelación superficial que se agrava aún más con tractoristas inexpertos; y la tercera, es la de provocar un “pie de arado” o zona de compactación subsuperficial en el suelo. Experiencias realizadas por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, han demostrado que si se usa la rastra de disco en forma continua, como en el caso de los huertos frutales, provoca una compactación subsuperficial del suelo, a profundidades que van entre los 8 a 12 cm, dependiendo de la textura del suelo y del peso de la rastra.



Figura 6. Rastra de discos, equipo ampliamente utilizado para labores secundarias.

Sin embargo lo anterior, la rastra de discos tiene la gran ventaja de permitir un control de malezas, picándolas e incorporándolas después de cada temporada de

producción, debido a que en la etapa de cosecha del cultivo anterior existe des-
preocupación por el control de ellas, acumulándose un volumen importante que no
sería eficientemente controlado por otro tipo de rastras. Además, su uso favorece
la incorporación de rastrojos en el suelo, de cultivos de la temporada anterior.

1.2 El vibrocultivador

Este es un implemento de múltiples usos en la explotación agrícola. Reemplaza
con muchas ventajas a las rastras de clavos, de discos, rotativas, rodillos com-
pactadores, etc. Su uso no sólo reemplaza a todos estos implementos, sino que
los supera en rendimiento de trabajo individual.

Este implemento que remueve el suelo sin invertirlo, está constituido por un
bastidor que soporta cinceles flexibles en forma de "S", en cuyo extremo se
adosan púas de diferentes formas para utilizar en los distintos tipos de suelos
y/o trabajos, obteniéndose un "vibrado" completo del suelo a la profundidad
deseada (**Figura 7**).



Figura 7. Vibrocultivador. Equipo adecuado para una labor de preparación de suelos secundaria.

Las ventajas del vibrocultivador son:

1. Permitir un buen control de malezas de reproducción vegetativa, como la chéptica (*Cynodon dactylon*) y Maicillo (*Sorghum halepense*), al destruir sus estolones y rizomas, exponiéndolos a las condiciones climáticas, por la acción de un rodillo compactador desmenuzador.
2. La presencia de brazos flexibles tipo "S" con púas, permite romper el sellamiento superficial del suelo.
3. Permite una buena nivelación por la acción de una pieza regulable que poseen algunos equipos, que precede a la acción de los brazos "S" y por la acción de un rodillo compactador-desmenuzador. La función de estos accesorios es romper por impacto los terrones y nivelar progresivamente el terreno.

Es importante considerar que en labores posteriores con vibrocultivador, se debe reducir lo más posible el uso del rodillo compactador desmenuzador, debido a que por la alta velocidad de la labor (8 a 10 km/hora) provoca un excesivo mullimiento del suelo, que a su vez se traduciría en problemas de erosión por arrastre de sedimentos por el riego gravitacional.

Recomendaciones

En términos generales podemos decir que en la preparación de suelo para el cultivo de quínoa, dependiendo de la zona y del tipo de suelo, se debe tener en cuenta el programar adecuadamente las labores de aradura y rastraje, considerando la maquinaria disponible, la humedad del suelo y las malezas presentes.

Para el mullimiento del suelo, con el objetivo de crear una cama de semillas y reducir la incidencia de malezas, es recomendable hacerlo con una rastra de discos, que permitirá un rastraje profundo y controlará malezas emergidas, posteriormente y días después; con una rastra tipo vibrocultivador, que mulle más superficialmente y elimina malezas en emergencia; y finalmente, previo a la siembra de la quínoa, realizar un rastraje liviano con una rastra de clavos, para eliminar las malezas que están emergiendo. De esta forma se reduce considerablemente la competencia de las malezas con el cultivo, al reducir la población de ellas.

Referencias

- Carrasco, J., y García-Huidobro, J. 1998.** Equipos de labranza. Los problemas de la labranza y los equipos. Tierra Adentro N° 20. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Mayo-Junio, p. 24-28.
- Carrasco, J. 1998.** Equipos de labranza primaria. El arado de vertederas. Tierra Adentro N° 21. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Julio-Agosto, p. 44-47.
- Carrasco, J. 1998.** Equipos de labranza primaria. El arado de discos. Tierra Adentro N° 22. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Septiembre-October, p. 41-44.
- Carrasco, J. 2003.** El suelo y la erosión. En: Carrasco, J., y Riquelme, J.(eds). Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas. Boletín INIA N° 103. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional Rayentué. San Fernando, 23-43 p.
- Carrasco, J. y otros. 2010.** El suelo y su relación con el manejo. En: Carrasco y Riquelme (eds.) Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. Boletín INIA N° 207. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo, Chile. pp. 47-69.
- Ibañez, M. 1985.** Curso internacional de mecanización agrícola para extensionistas. Preparación de suelos para la siembra. Universidad de Concepción. Depto. de Ingeniería Agrícola. Chillán. pp 89.
- Ormeño, J., y Carrasco, J. 1999.** El laboreo del suelo y su efecto sobre las malezas. Tierra Adentro N° 29. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Noviembre-Diciembre, p. 40-43.
- Riquelme, J., y Carrasco, J. 1999.** Arado Cíncel. Un implemento que protege el suelo de la erosión. Guía de operaciones. Tierra Adentro. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Julio-Agosto, p.46-50.
- Riquelme, J., Carrasco, J. y Valenzuela, F. 2010.** Equipos de Labranza para el manejo de suelo. En Carrasco y Riquelme (eds.) Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. Boletín INIA N° 207. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo, Chile. pp. 11-45.

Capítulo 5.

El Riego de la quínoa

Sofía Felmer E.

Ing. Agrónomo.

sfelmer@inia.cl

El riego provee el agua necesaria para el desarrollo de los cultivos, en períodos secos o en ausencia de precipitaciones. Esto hace fundamental determinar los momentos óptimos de aplicación del agua de riego, tanto en cantidad como en la frecuencia de aplicación. En Chile, la quínoa está teniendo un alto valor comercial para los productores, dado que por sus múltiples propiedades se ha incrementado la demanda por parte de los consumidores. Si bien es un cultivo principalmente de secano, las condiciones actuales de escasez de precipitaciones o cambios en la distribución de las mismas, ha generado largos períodos sin precipitaciones o presencia de lluvias tardías intensas, con apozamiento de agua en el suelo. Esto último ha modificado en algunos años la fecha de establecimiento del cultivo; en tanto, las lluvias tardías han complicado el desarrollo normal de las plantas y afectado el rendimiento potencial de esta especie.

La quínoa es muy eficiente en el uso del agua, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar al déficit de humedad, sino tolerar y resistir la falta de humedad del suelo; pudiendo crecer y dar producciones aceptables con precipitaciones mínimas de 200-250 mm anuales (Silva, M. 1978).

En general, la quínoa se comporta como una planta resistente o rústica que tolera suelos pobres, pedregosos y arenosos. Incluso, se han observado rendimientos de hasta 50 y 60 quintales métricos por hectárea (5 a 6 t/ha) en suelos considerados como marginales para el trigo y otros cultivos.

En la zona andina es cultivada solamente con las precipitaciones pluviales y, en forma excepcional se utiliza riego, el cual constituye un elemento complementario. El cultivo de quínoa demanda mayor requerimiento de agua durante la floración y fructificación (M. García, Hidalgo, 2013).

En el secano interior o costero de la zona central de Chile se podrían utilizar, en caso de tener disponibilidad del recurso hídrico y como complemento, riegos tecnificados; presurizados por aspersión o por goteo. Si bien las ventajas son mayores en el riego por goteo, ya que la aplicación del agua es localizada, uniforme, utiliza menos agua (mayor eficiencia), la evaporación del agua en el momento del riego es menor, el efecto del viento es insignificante y, finalmente requiere menos presión de operación, por lo que consume menos energía; la aspersión es una alternativa que se ha estado evaluando, principalmente dado por una mayor uniformidad en la emergencia de la planta.

Movimiento del agua a través del suelo

El agua que entra en el suelo proviene de la lluvia o el riego y es removida por las raíces de las plantas, o se pierde bajo la zona de raíces por percolación profunda. Por otra parte tenemos la evapotranspiración, término que incluye las pérdidas por evaporación directa desde la superficie del suelo, más el agua transpirada por las plantas (**Figura 1**).

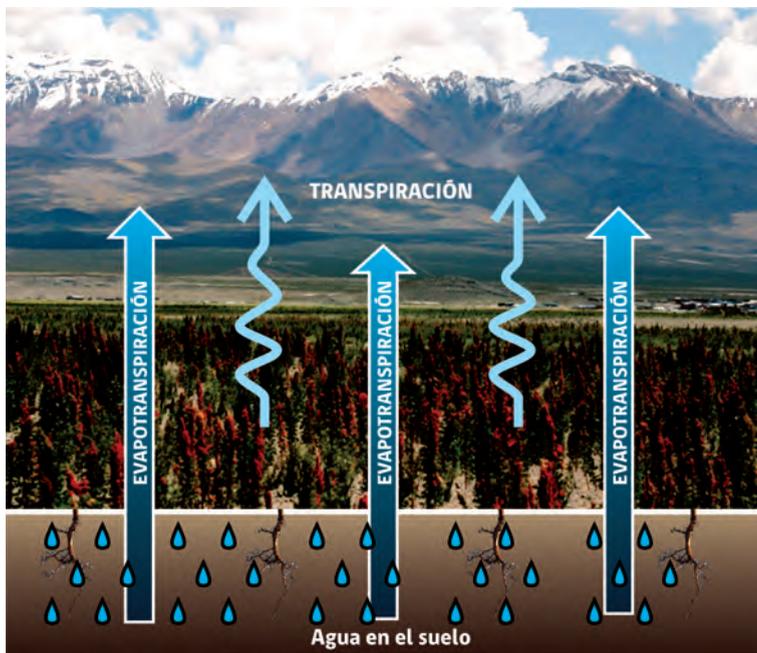


Figura 1.

Por lo antes explicado, el contenido de agua en el suelo cambia constantemente, haciendo variar la disponibilidad del recurso a las plantas que sustenta. De esta forma entendemos al suelo como un estanque capaz de almacenar una cierta cantidad de agua, que va desde la Saturación después de una precipitación importante o después de un riego; pasando por la Capacidad de Campo, condición que se alcanza aproximadamente 24 a 48 horas después del riego o lluvia; y llegando finalmente al Punto de Marchitez Permanente, momento en que el agua ya no está disponible para las plantas, ya que está fuertemente retenida por las partículas del suelo (**Figura 2**).

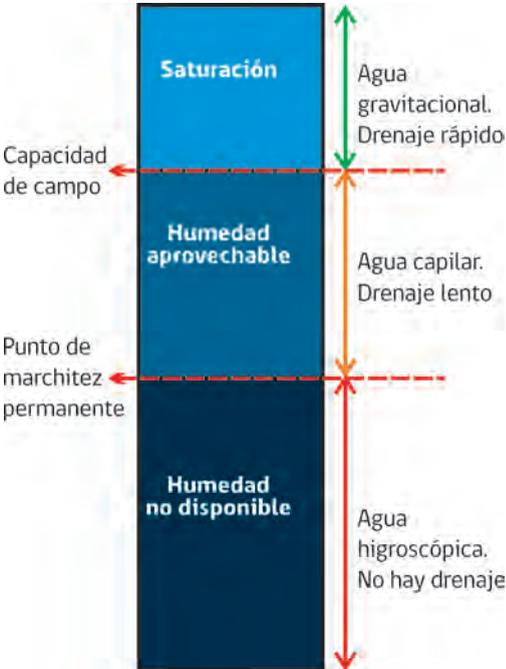


Figura 2. Disponibilidades de agua en el suelo y características de drenaje.

Para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de quínoa, es necesario conocer los Coeficientes de Cultivo (Kc). A continuación, en el **Cuadro 1** se presenta el resultado de una investigación de La Autodema, sobre los Kc por etapa de desarrollo de esta especie.

Cuadro 1. Coeficientes de cultivo (Kc) para quínoa según etapa de desarrollo.

Semanas desarrollo de la quínoa	Coefficiente de cultivo (Kc)
1 - 3	0,3
4 - 5	0,5
6 - 7	0,8
8 - 13	1,0
14 - 15	0,9

Como se describe en la Revista Agricultura del Desierto, la quínoa, que es un cultivo muy adaptado a las condiciones del altiplano, tiene una interesante respuesta al riego. Los datos de campo indican que la quinua es resistente tanto al estrés hídrico como al salino. Sin embargo, los datos científicos para avalar estas observaciones son muy escasos o indirectos.

González y Prado (1992) y Gallardo y González (1992) demostraron que la humedad, las distintas concentraciones de sales y las diferentes temperaturas ejercen una fuerte influencia sobre la quínoa durante la germinación. García (1991) demostró que con riegos moderados, se puede incrementar su rendimiento. Así mismo, Vacher *et al.*, (1994) encontraron que bajo condiciones de estrés hídrico la quínoa presenta una alta resistencia a la sequía y una alta tasa de asimilación fotosintética. La determinación de los requerimientos de riego de los cultivos en el Altiplano chileno es algo muy complejo, debido a que los factores climáticos son muy variables. La demanda de agua depende esencialmente de dos factores: precipitaciones y disponibilidad de humedad en el suelo. Los agricultores solo pueden influir sobre este último factor, mediante lo que se denomina tiempos de descanso (barbecho), para permitir recuperar la fertilidad del suelo y la cantidad de agua disponible. Sin embargo, las estratas superiores del suelo (0 a 40 cm) presentan muy bajo contenido de humedad debido principalmente a la elevada evaporación.

Métodos de riego

Según algunos autores del libro “Quínoa Ancestral Cultivo de Los Andes” (2012), si se utilizan riegos, éstos deben ser suministrados en forma periódica y ligeros. Los sistemas de riego pueden ser tanto por gravedad como por aspersión o goteo (**Figura 3**), utilizando bajos volúmenes de agua y con una frecuencia de 5 - 10 días, considerando al riego como suplementario a las precipitaciones o como para adelantar las siembras, o cuando se presenten severas sequías. En las zonas donde no hay precipitaciones se recomienda utilizar riego por



Figura 3. (A) Riego por goteo, (B) por mini aspersión de cobertura total y (C) riego por surcos mediante mangas con compuertas.

aspersión por las mañanas muy temprano o por las tardes, cerca del anochecer, para evitar la excesiva evapotranspiración y que el viento afecte la uniformidad y eficiencia de riego.

En caso de riego por aspersión, la experiencia ha demostrado en la costa árida y seca del Perú, que tiempos de riego de dos horas, con una frecuencia de seis días, es suficiente para el normal crecimiento y producción de la quínoa.

En el caso de utilizar riego por goteo, se debe sembrar en líneas de dos surcos para aprovechar mejor el espacio y la humedad disponible de las cintas de riego (Cárdenas, 1999).

Como la eficiencia de los sistemas de riego, tiene gran importancia al momento de decidir cómo regar y de la disponibilidad del recurso hídrico, a continuación se presenta el **Cuadro 2**, con las eficiencias por sistema o método de riego, donde podemos observar que el rango de eficiencias va desde un 30% en el riego por tendido a un 90% en el caso del goteo.

Cuadro 2. Eficiencia de aplicación de agua por sistema de riego.

Métodos de riego	Eficiencia de aplicación (%)	
	Normal	Conducción Californiana
Tendido	30	35
Surcos	45	50
Surcos en contorno	50	60
Bordes en contorno	50	65
Bordes rectos	60	65
Pretilas	60	65
Tazas	65	70
Aspersión	75	-
Microjet	85	-
Microaspersión	85	-
Goteo	90	-

Disponer de energía para hacer funcionar de forma óptima cada sistema de riego y ser eficientes en la operación de los equipos, requiere conocer los rangos de presión de funcionamiento de cada uno de los sistemas de riego presurizados que se utilizan para la quínoa (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Rangos de presiones de trabajo para diferentes sistemas de riego.

Métodos de Riego	Presión de trabajo (mca)	Presión de trabajo (bar)
Cinta	7 - 10	0,7 - 1,0
Goteo	10 - 12	1,0 - 1,2
Aspersión o Mini aspersión	25 - 40	2,5 - 4,0

El método de riego a utilizar va a depender de la disponibilidad del recurso hídrico y la zona geográfica, es decir, en el caso del secano interior o costero de la zona central de Chile, donde el agua disponible es principalmente la de la lluvia en invierno y para la época estival, los que disponen de norias o pozos, de bajos caudales, es poco probable regar con métodos gravitacionales como surco o tendido, ya que son métodos de baja eficiencia de aplicación (35 - 40%), por lo que se requerirían mayores volúmenes de agua para el riego de la quínoa.

Por otra parte, el riego por cobertura total o miniaspersión, si bien tiene una mayor eficiencia que el riego por surco (75%), requiere de una mayor presión de operación, por lo que el equipo de bombeo debe ser de mayor potencia, lo cual en esta zona podría estar limitado por la energía eléctrica disponible, haciendo más alto el costo de producción de la quínoa. Frente a esto, se podrían utilizar energías alternativas o complementarias, como la energía solar o eólica para el funcionamiento del equipo de bombeo.

El riego por goteo a través de cintas podría ser una buena alternativa, ya que es de mayor eficiencia y requiere menor presión de operación que la aspersión, además podría ser un sistema móvil, utilizando mangueras de conducción tipo Layflat.

Referencias

- Aguilar, U. 2013.** Coeficientes de Cultivo por etapa de desarrollo de la quínoa (Proyecto Majes-Siguas II para mejorar la infraestructura hídrica y de riego). Campaña de producción de Quínoa Fundo América SAC. Autoridad Autónoma de Majes (Autodema) en la Región Arequipa.
- Cárdenas, G. 1999.** Selección de cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por su resistencia a la sequía. Tesis de Ing. Agro. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Escuela profesional y Académica de Agronomía. Arequipa, Perú. 95 p.
- Delatorre-Herrera, J., M. Sanchez-Monje, I. Delfino y M.I Oliva. 2013.** La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), un tesoro andino para el mundo. Agricultura del Desierto Idesia (Arica), Volumen 31, 114 p.
- Gallardo, M, y J.A. González. 1992.** Efecto de algunos factores ambientales sobre la germinación de *Chenopodium quinoa* Willd. y sus posibilidades de cultivo en la provincia de Tukumán. Lilloa 38 (1): 55-64.
- García, M. 1991.** Análisis del Comportamiento Hídrico de Dos Variedades de Quinua Frente a la Sequía. Tesis de Grado para obtener el título de Ing. Agrónomo. UMSA. La Paz-Bolivia.
- González, J.A., and F. Prado. 1992.** Germination in relation to salinity and temperature in *Chenopodium quinoa* (Willd.). Agrochimica, Vol. XXXVI N° 1-2: 101-108.
- Mujica, A., A. Canahua y R. Saravia. 2012.** Agronomía del cultivo de la quinua (253 p). Quinua ancestral cultivo de Los Andes, Cap. II., 28 p.
- Mujica, A. J., Aguilar y Sven-Erik Jacobsen. 1999.** Evapotranspiración en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Resúmenes de investigaciones en quinua de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú (1962 - 1999). 209 p.
- Silva, M. 1978.** Evapotranspiración en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). En: Resúmenes de investigaciones en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de la Universidad Nacional del Altiplano, 1962-1999. A. Mujica, J. Aguilar y Sven-Erik Jacobsen, 1999. Editores. Puno, Perú. 209 p.
- Vacher, J.J., J.J. Dizes, G. Espíndola y C. Castillo. 1994.** La capacidad de ajuste osmótica en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Agrosur 22: 20.

Capítulo 6.

Manejo de malezas en quínoa

Alberto Pedreros L.

Ing. Agrónomo, Ph.D.

jpedreros@udec.cl

Leidy Molina M.

Ing. Agrónomo

leidymolina@udec.cl

Introducción

La quínoa o quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo ancestral para alimentación humana y animal de antiguas culturas prehispánicas de América del Sur, por lo que tradicionalmente se ha utilizado como cultivo de subsistencia donde se manejan pequeñas superficies de forma mecánico-manual, incluyendo entre otras labores el control de malezas. Debido a sus favorables características como alimento altamente nutritivo para humanos, hay un creciente interés en incrementar tanto las superficies de siembra como la productividad del cultivo, lo que lleva a la necesidad de buscar metodologías de producción más tecnificadas, entre ellas el manejo de las malezas.

La quínoa es una especie con un lento crecimiento inicial que la hace una muy mala competidora con otras especies, a pesar de estar cercanamente emparentada con malezas como quinguilla (*Chenopodium album* L.). Aunque no hay antecedentes exactos del período de emergencia, se sugiere que los primeros 20 días después de sembrar, son críticos por ser muy sensible a las condiciones ambientales durante la germinación, en especial ciertas condiciones de heterogeneidad de suelos respecto a la humedad, temperatura, formación de costras y presencia de malezas.

El ser mala competidora, por producir poco y lento cubrimiento del suelo, se traduce en que otras especies que emergen junto a ella o inmediatamente

después, son capaces de aprovechar de mejor forma los factores de producción como agua, luz, nutrientes y espacio físico, que son requeridos por cualquier vegetal. A esto se suma la falta de antecedentes de aspectos como el período crítico de interferencia, es decir la etapa de crecimiento de la quínoa en que las malezas no deben estar presentes para evitar disminución del rendimiento. Otro aspecto relevante es el control de malezas orientado principalmente al control integrado, donde se pueda utilizar sistemas tradicionales como el mecánico, y uso de herbicidas en épocas en que no sea factible el mecánico. Algunos ensayos preliminares han mostrado resultados promisorios con herbicidas como alachlor y tribunal, que serían factibles de usar en este cultivo ya que le producen mínimo daño, sin embargo ambos ya no existen en el mercado de Chile, lo que obliga a buscar nuevas alternativas.

Malezas en quínoa

Como cualquier especie cultivada, el rendimiento de quínoa está inversamente relacionado con la presencia de malezas, determinando que la pérdida de rendimiento aumenta a medida que se incrementa la biomasa de las malezas. Las especies de malezas presentes corresponden en su mayoría a especies de primavera-verano que requieren de temperaturas medias a altas y que están casi maduras cuando se acerca el periodo de cosecha de la quínoa. Por otra parte, otras especies de otoño-invierno, han sido detectadas y algunas que se pueden presentar en toda época del año (**Cuadro 1**). En condiciones de la provincia de Ñuble, las malezas más frecuentes, en dos temporadas de evaluación, fueron en su mayoría especies anuales tanto gramíneas como de hoja ancha. De las más importantes, sobresalió quinguilla, que como se mencionó previamente, está estrechamente emparentada con la quínoa; además, altas densidades de malezas de hoja ancha como democracia, pacoyuyo, tomatillo, sanguinaria y algunas gramíneas como hualcacho y pasto de la perdiz determinaron que fueran, además, las de mayor biomasa.

Aunque pocas especies de malezas perennes han sido identificadas, son precisamente éstas las que pueden ser las más perjudiciales en las primeras etapas del cultivo. Son especies de gran habilidad competitiva y el hecho de cortarlas o controlarlas manualmente sólo retrasa su crecimiento, ya que por su capacidad de rebrote, están continuamente en crecimiento activo durante la temporada de primavera-verano.

Cuadro 1. Principales especies de malezas identificadas en cultivo de quinoa en la comuna de Chillán. 2013-2015.

Especie	Nombre común	Familia	Ciclo de vida
Hoja ancha o dicotiledoneas			
<i>Amaranthus hybridus</i>	Bledo	Amaranthaceae	Anual
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Bledo	Amaranthaceae	Anual
<i>Chenopodium album</i>	Quinguilla	Amaranthaceae	Anual
<i>Daucus carota</i>	Zanahoria	Apiaceae	Anual, bienal
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Democracia	Asteraceae	Anual
<i>Galinsoga parviflora</i>	Pacoyuyo	Asteraceae	Anual
<i>Raphanus</i> spp.	Rábano	Brassicaceae	Anual
<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela	Convolvulaceae	Perenne
<i>Vicia</i> spp.	Arvejilla	Fabaceae	Anual
<i>Plantago lanceolata</i>	Siete venas	Plantaginaceae	Perenne
<i>Plantago major</i>	Llantén	Plantaginaceae	Perenne
<i>Fallopia convolvulus</i>	Porotillo	Polygonaceae	Anual
<i>Polygonum persicaria</i>	Duraznillo	Polygonaceae	Anual
<i>Polygonum aviculare</i>	Sanguinaria	Polygonaceae	Anual
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	Portulacaceae	Anual
<i>Solanum nigrum</i>	Tomatillo	Solanaceae	Anual
<i>Verbena litoralis</i>	Verbena	Verbenaceae	Perenne
Hoja angosta o monocotiledóneas			
<i>Avena fatua</i>	Avenilla	Poaceae	Anual
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pata de gallina	Poaceae	Anual
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hualcacho	Poaceae	Anual
<i>Panicum capillare</i>	Pasto de la perdiz	Poaceae	Anual
<i>Setaria</i> spp.	Pega pega	Poaceae	Anual

Efecto de las malezas

Todas las especies cultivadas disminuyen su productividad en presencia de malezas y dependiendo de la especie, esta pérdida de rendimiento puede ser cercana al 100% como en el caso de algunas hortalizas, que son poco competidoras. En

el caso de quínoa, está reportado el efecto de las malezas en el crecimiento y desarrollo, que determinan finalmente una pérdida de producción y calidad del grano. Otros efectos negativos de las malezas son ser hospederos de insectos y organismos que pueden transformarse en plagas y enfermedades en la quínoa, por lo que indirectamente afectan también su rendimiento. Numerosas malezas que están terminando su ciclo junto con la quínoa, entre ellas quingüilla y bleado, pueden contaminar los granos cosechados de quínoa, afectado negativamente la calidad de lo producido sólo por aumentar las impurezas. En países exportadores, esto significa una depreciación de la calidad del producto y por otra parte si se utiliza como semilla en otros lugares, se incrementará la diseminación de las especies de malezas contaminantes.

La mínima información en Chile sobre el efecto de las malezas en el cultivo de la quínoa se sustenta, en estudios preliminares, donde el control de malezas produjo un aumento promedio de un 64% del rendimiento en kg/ha, al comparar parcelas sin control con parcelas en las que se efectuó cuatro veces control manual-mecánico (**Cuadro 2**). Este porcentaje de aumento de rendimiento no fue uniforme, ya que además del efecto del año, también hay un efecto del ecotipo o variedad usada, porque algunos de ellos tienen un mayor crecimiento en altura y son capaces de producir más sombra que otros, lo que influye directamente en la emergencia de malezas.

Cuadro 2. Porcentaje de aumento de rendimiento de quínoa por control mecánico-manual de malezas durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo. Chillán 2003-2005.

	Aumento de rendimiento (%)	
	Temporadas	
	2003-2004	2004-2005
Ecotipo 1	98,1	57,7
Ecotipo 2	60,9	41,7

Este aumento de rendimiento por controlar malezas en quínoa, puede parecer alto, pero es coincidente con otros reportes en los cuales algunas malezas se han controlado químicamente. En Colorado, USA, sólo por el hecho de controlar malezas gramíneas, significó aumentos de rendimiento de 640 kg/ha a 1.822 kg/ha; no obstante no se han logrado resultados similares con malezas de hoja ancha.

Sistemas de control de malezas

Por ser un cultivo de pequeñas superficies y de producción para autoconsumo, el sistema tradicional de control de malezas ha sido mecánico-manual; sin embargo, el continuo aumento de la demanda de este producto, ha influido en la necesidad de incrementar la superficie de siembra y uno de los problemas permanentes es el cómo controlar las malezas en estas mayores superficies donde el sistema tradicional es lento.

Lo primero que es necesario considerar es el lugar en el cual se sembrará la quínoa y conocer el historial de uso del potrero, por la posibilidad de presencia de especies maleza que puedan ser complicadas y para tener la certeza que no se han utilizado herbicidas que puedan tener efecto residual (carryover), es decir, que por aplicarlo en el cultivo anterior, aún produzca efecto en el cultivo siguiente, en este caso la quínoa. Ante la posibilidad de presencia de malezas perennes, lo más conveniente es evitar la siembra de quínoa en lugares que se sabe de su presencia, ya que será muy difícil su control con el cultivo presente. Una buena alternativa es controlar estas malezas cuando no hay cultivo presente, es decir durante el barbecho y regar cuando se disponga de riego, para permitir un adecuado crecimiento de estas especies, como correhuela, y aplicarle un herbicida antes de iniciar la preparación de suelos. Respecto a los herbicidas utilizados en el cultivo anterior, se debe tener la certeza que no tienen efecto sobre plantas del género *Chenopodium*, es decir, revisar si hay antecedentes de largo efecto residual sobre quinguilla, puede ser una alternativa que indique precaución.

Métodos preventivos. La prevención de las malezas es una actitud que debiera ser considerada por todo agricultor; prevención que significa evitar que las malezas anuales lleguen al estado de floración y evitar que las malezas perennes produzcan estructuras vegetativas que invadan nuevos suelos. Si se permite a las malezas que lleguen al estado de semilla y éstas caen al suelo, hay un continuo aumento del banco de semillas del suelo que significará continuas reinfestaciones dado el alto número de semillas que pueden producir muchas de las malezas comunes en el cultivo de quínoa, que se suma al alto número de años que estas semillas pueden permanecer viables en el suelo esperando condiciones favorables para germinar y reproducirse (**Cuadro 3**). Esto significa que unas pocas plantas de cualquiera de estas malezas que se dejen en un cultivo previo a una siembra de quínoa, o mientras el suelo esté en barbecho, implicará una alta emergencia de malezas cuando el suelo se siembre. Por otra parte, cuando se permite que las malezas perennes crezcan y se desarrollen más allá de las 4 a 5

Cuadro 3. Producción de semilla por planta y sobrevivencia de semillas de algunas de las principales malezas presentes en el cultivo de quínoa.

Especie	Nombre común	Semillas por planta	Sobrevivencia (años)
Hoja ancha o dicotiledóneas			
<i>Amaranthus hybridus</i>	Bledo	117.400	10 - 40
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Bledo	229.175	40
<i>Chenopodium album</i>	Quinguilla	72.450	39
<i>Daucus carota</i>	Zanahoria	1.000-40.000	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Democracia	15.000	40
<i>Galinsoga parviflora</i>	Pacoyuyo	8.200	
<i>Raphanus</i> spp.	Rábano	1.875	20
<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela	500	20
<i>Vicia</i> spp.	Arvejilla		18
<i>Plantago lanceolata</i>	Siete venas	10.000	16
<i>Plantago major</i>	Llantén	15.000	
<i>Fallopia convolvulus</i>	Porotillo	11.900	22
<i>Polygonum persicaria</i>	Duraznillo	34.000	30
<i>Polygonum aviculare</i>	Sanguinaria	6.380	10-14
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	52.300	30-40
<i>Datura stramonium</i>	Chamico	23.400	39
<i>Solanum nigrum</i>	Tomatillo	178.000	30
<i>Verbena litoralis</i>	Verbena		
Hoja angosta o monocotiledóneas			
<i>Avena fatua</i>	Avenilla	250	1 - 10
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pata de gallina	150.000	
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hualcacho	7.160	7
<i>Panicum capillare</i>	Pasto de la perdiz	56.400	47
<i>Setaria</i> spp.	Pega pega	34.000	30

Adaptado de Cavers *et al.*, 1980; Ross y Lembi, 2009; Zimdahl, 2014.

hojas, se está permitiendo el desarrollo de los propágulos vegetativos, sin que sea notorio cuando éstos son subterráneos como los rizomas, bulbos, tubérculos o raíces. Tampoco es posible que los herbicidas actúen de forma eficiente, ya

que al estar las malezas en sus primeros estados de desarrollo, no hay suficiente área foliar que permita la absorción y translocación necesaria del producto a los propágulos subterráneos. En este caso, es necesario esperar que estas malezas estén en etapas cercanas a floración o en plena floración, dependiendo de la especie, o simplemente esperar que se esté en etapa posterior a la formación de las semillas y estas malezas estén comenzando a translocar hacia estructuras vegetativas previo a la entrada en receso.

A pesar de la aparición de sólo tres especies perennes entre las más numerosas en siembras de quínoa en la región del Biobío, hay numerosas otras especies que son potencialmente dañinas y comunes en los suelos de siembras anuales ya que los agricultores no suelen controlarlas cuando el suelo está en barbecho. Estas malezas son de las más invasivas ya que presentan gran habilidad competitiva y varias de ellas son alelopáticas, es decir liberan sustancias tóxicas al medio ambiente que afectan el desarrollo de otras especies. Estas sustancias pueden ser producidas por la planta misma o por residuos de ella que permanezcan en el suelo. Aunque algunas de ellas no producen gran cantidad de semillas por planta, sí son capaces de producir gran cantidad por unidad de superficie dada su gran invasividad y rapidez de propagación, como el caso de las llamadas chépicas, que producen más de 100.000 semillas/m². Estas malezas no deberían estar presentes en suelos destinados a los cultivos anuales, sin embargo el continuo paso de maquinaria está evitando que la mayoría manifieste su presencia en cultivos más competitivos como trigo o maíz, sin embargo cultivos poco competitivos como quínoa u hortalizas, no son capaces de competir por lo que su reproducción puede ser muy alta. El **Cuadro 4** muestra las principales malezas de este grupo, que debería evitarse su presencia en suelos destinados a producción de quínoa y a la vez se debe prevenir su llegada si no están presentes. Para esto debería limpiarse toda maquinaria o implementos que se utilicen en la preparación de suelos, en especial si vienen de potreros que se sabe la presencia de este tipo de malezas, ya que una semilla o parte de un propágulo vegetativo son suficientes para contaminar nuevas áreas en corto período. También es aconsejable controlar permanentemente las malezas de los bordes de potreros y de los canales de riego. Por otra parte, es muy importante utilizar material limpio de malezas como semilla de quínoa, ya que si el origen es desconocido o dudoso, será la principal fuente de contaminación. En este caso puede ser conveniente revisar en forma permanente la siembra de la cual se piensa dejar para semillas y realizar un control de malezas más exhaustivo para obtener material limpio, en especial de semillas que son parecidas y dificultan su separación.

Cuadro 4. Principales especies de malezas perennes y algunas características biológicas.

Nombre científico	Nombre común	Tipo de propágulo	Producción de semillas
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Raíz pivotante	Alta
<i>Galega officinalis</i>	Galega	Raíz pivotante	Alta
<i>Malva nicaensis</i>	Malva	Raíz pivotante	Alta
<i>Plantago lanceolata</i>	Siete venas	Raíz pivotante	Alta
<i>Bidens aurea</i>	Falso té	Rizomas	Media
<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela	Yemas, rizomas	Baja
<i>Rorippa sylvestris</i>	Pata de laucha	Yemas, rizomas	Baja
<i>Cirsium vulgare</i>	Cardo canadiense	Yemas	Media
<i>Modiola caroliniana</i>	Pilo-pilo	Estolones	Media
<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda	Rizomas, estolones	Baja
<i>Paspalum paspalodes</i>	Chépica	Rizomas, estolones	Baja
<i>Sorghum halepense</i>	Maicillo	Rizomas	Alta
<i>Rumex acetosella</i>	Vinagrillo	Rizomas	Alta
<i>Cyperus esculentus</i> <i>Cyperus rotundus</i>	Chufas	Rizomas, bulbos, tubérculos	Alta
<i>Equisetum bogotense</i>	Hierba del platero	Rizomas, esporas	Baja

Adaptado de Anderson, 1999; Ormeño, 2005; Recasens *et al.*, 2009.

El inconveniente de utilizar métodos preventivos, es que el agricultor nunca sabrá la ventaja y la disminución o ausencia de muchas dificultades si es exitoso, por lo que pasará casi inadvertido; sin embargo, si fracasa y aparecen nuevas especies difíciles de controlar, tarde se percatará de la importancia que tiene este sistema. Debido a esto, es que se aconseja monitorear en forma permanente los potreros, orillas de caminos, bajo los cercos, canales y siembras mismas para sacar de inmediato cualquier especie de maleza desconocida o nueva en el predio.

Control cultural. Cualquier actividad que se realice pensando en un desarrollo sano y vigoroso del cultivo, es considerado parte del control cultural, ya que así la quínoa estará en mejores condiciones para competir con otras especies arvenses del sistema. Aquí se considera cualquier decisión que favorezca al cultivo, como elección de una variedad adaptada a la zona, utilizar la fecha de siembra óptima, dosis de siembra adecuada para lograr una buena población

inicial, distancia entre y sobre hilera adecuada, fertilización y manejo de plagas y enfermedades, etc. Cualquiera de estas labores que se haga de manera incorrecta, significará una pérdida de la habilidad competitiva de la quínoa, en desmedro de otras especies. Algunas recomendaciones indican por ejemplo, que sembrar temprano ayuda a que la quínoa esté con cierto desarrollo cuando emergen malezas plantas del genero *Amaranthus*, que son competitivas con quínoa, pero requieren temperaturas un poco más altas; otros trabajos indican que las hileras no deben ir muy separadas, si no que de acuerdo al crecimiento de la quínoa y que permita pasar cultivadores entre las hileras.

Control mecánico. La destrucción física de malezas o cualquier actividad que termine el contacto suelo-maleza, es uno de los métodos más utilizados para controlar malezas en quínoa. Esta labor puede hacerse desde manual en siembras pequeñas, o con uso de herramientas manuales como azadones, o con fuerza animal o motriz en siembras de mayor superficie, prefiriéndose el paso de cultivadores con fuerza motriz en las siembras más extensas. La eficiencia de estas labores se basa en la capacidad de disturbar el suelo pero sin afectar a las plántulas del cultivo. Aunque no hay antecedentes de cuándo iniciar estas labores, lo aconsejable es realizar la primera limpia apenas se puedan diferenciar las hileras de quínoa del resto, por lo que debe ser en los primeros estados de desarrollo de las malezas y del cultivo. Esto significa que gran parte de este control dependerá de la habilidad del operador de la maquinaria o de las herramientas menores ya que puede resultar fácil entre las hileras, pero casi imposible sobre la hilera, quedando malezas que competirán directamente con el cultivo.

Un reporte de ensayo en que se compara rastra de discos flexibles sobre toda la superficie en comparación con azadón entre las hileras de quínoa, concluye que ambos sistemas disminuyeron la densidad de quínoa en una de las temporadas, mientras en la otra no hubo efecto. A pesar de esto, ambos sistemas de control aumentaron el rendimiento, pero el uso de azadón tuvo mayor incremento debido al mejor control de las malezas.

Dependiendo de la emergencia de nuevas poblaciones de malezas, es necesario controlar más de una vez en forma mecánica ya que mover el suelo también estimula la germinación de nuevas semillas de malezas que son traídas a la superficie. Según la densidad de malezas que haya cerca de la cosecha, es necesario controlar poco antes de ejecutar esta labor para evitar que las numerosas especies que están terminando su ciclo junto a la quínoa, mezclen sus semillas con las del cultivo ya que es bastante difícil separar muchas de ellas.

Control químico. Consiste en usar herbicidas, en lo posible selectivos, para controlar malezas en quínoa. A pesar que es factible el uso de algunos de ellos, en Chile no hay productos registrados para este cultivo y no ha existido investigación permanente que permita hacer recomendaciones seguras. Trabajos aislados han sido reportados de Colorado, USA, donde se controlaron gramíneas con importante aumento de rendimiento, mientras en Chile se evaluó y encontró promisorio el herbicida ALACHLOR, que con posterioridad se retiró del comercio.

Se realizaron algunas evaluaciones preliminares de herbicidas al suelo pero efectuadas en macetas al aire libre y cortadas a los 60 días después de emerger, con los herbicidas ACETOCLORO, PROPISOCLORO, S-METOLACLORO, METSULFURON, METAMITRON y LINURON en dos dosis de cada herbicida y sobre 7 ecotipos de quínoa (**Cuadro 5**). Los resultados indican que la mayoría de ellos afectó a la quínoa, siendo el S-METOLACLORO el que mostró resultados más promisorios ya que los rendimientos promedios no difirieron del testigo sin herbicida y sin malezas. A pesar de esto, los herbicidas a la siembra deben estudiarse más cuidadosamente, ya que en este caso hubo claras diferencias entre los ecotipos evaluados, sugiriendo que hay interacción de los herbicidas x ecotipo (datos no mostrados). METAMITRON por ejemplo, tuvo buenos resultados en dos ecotipos, pero otros se afectaron casi en un 100% y lo mismo sucedió con otros herbicidas evaluados. Esto indica que no es

Cuadro 5. Efecto de dos dosis de seis herbicidas al suelo aplicados en siete variedades de quínoa sembradas en maceta. Chillán 2014-2015.

Tratamientos	Población 30 dde*	Población 60 dde*	Altura 60 60 dde*	Materia seca 60 dde*
	(plantas/maceta)	(plantas/maceta)	(cm)	(g/maceta)
Testigo sin herbicida	16	14	8,24	1,47
ACETOCLORO	6	4	4,50	0,65
PROPISOCLORO	5	4	5,26	0,78
S-METOLACLORO	14	13	7,94	1,53
METSULFURON-METIL	11	10	6,03	1,26
LINURON	6	4	1,82	0,27
METAMITRON	7	5	4,78	0,69

* dde: días después de emergencia.

posible hacer recomendaciones de herbicidas al suelo, hasta no tener cierta certeza de su comportamiento frente a variedades o ecotipos seleccionados.

En relación al control post emergente, ensayos realizados por dos temporadas en la localidad de Chillán, región de Ñuble, indicaron que controlar malezas en forma manual-mecánica por cuatro veces, aumentó el rendimiento de las dos variedades evaluadas, mientras que ningún tratamientos herbicida fue tan eficaz en el incremento de la producción. A pesar de esto, el herbicida FOMESAFEN aplicado en una oportunidad con quínoa de 4-6 hojas, tuvo un incremento del 42% del rendimiento en comparación a no controlar malezas; mientras que tres aplicaciones del mismo herbicida cada 9 días a partir de las 4-6 hojas de quínoa, significó un 37% de mayor rendimiento, pero sólo en un ecotipo. En este caso, al parecer los herbicidas tuvieron un efecto negativo con la excepción de FOMESAFEN aplicado en una oportunidad (**Cuadro 6**). Estos resultados indican que es necesario estudiar en forma cuidadosa el uso de herbicidas post emergentes para las malezas de hoja ancha de este cultivo, ya que se presentan interacciones que se necesitan profundizar antes de hacer recomendaciones para quínoa. También es necesario recalcar, que en ninguno de estos tratamientos se llegó con suelo limpio a la cosecha del cultivo e igual hubo especies de malezas que estaban ya con semilla, como zanahoria, bledo, quinguilla y democracia.

Cuadro 6. Efecto de tratamientos post emergentes aplicados en quínoa sobre el rendimiento promedio de dos temporadas. Chillán 2013-2015.

Tratamientos	Dosis g o cc/ha	Rendimiento (kg/ha)	
		Ecotipo 1	Ecotipo 2
Testigo sin control	-	1529,0	1583,7
Testigo desmalezado	4 picas	2521,3	2263,6
FOMESAFEN	0,0875	2178,8	1769,6
FOMESAFEN	0,0875 x 2	1726,5	1398,1
FOMESAFEN	0,0875 x 3	2093,3	1488,6
BENTAZÓN	0,384	1862,6	1215,3
BENTAZÓN	0,384 x 2	1807,1	1395,1
METSULFURON METIL	0,0006	192,9	545,9
METSULFURON METIL	0,0012	164,0	81,1

Fomesafen: Flex 250 g/L; Bentazon: Basagran 48%, Metsulfuron metil: Aliado 60%.

Conclusiones

La quínoa como cultivo es una especie que crece inicialmente lento, por lo que su habilidad competitiva es escasa y puede ser rápidamente invadida por malezas. La mayoría de los ensayos reportados indican aumentos del rendimiento de granos que pueden superar el 50% en comparación a no controlar, lo que indica claramente que hay una respuesta positiva a esta práctica. Ante las pocas alternativas de manejar estas malezas, las recomendaciones van hacia un control integrado, es decir utilizar todas las herramientas que directa o indirectamente favorezcan al cultivo. Esto parte con utilizar la prevención, en especial evitando suelos infestados de malezas perennes con rápido crecimiento y exclusión de otras especies y controlando malezas incluso antes de iniciar una adecuada preparación de suelos. También adquieren importancia las prácticas culturales del cultivo, como sembrar ecotipos o variedades adaptadas a la zona, distancias de siembra para obtener población óptima del cultivo. Utilizar control mecánico-manual en las primeras etapas es aconsejable, sin embargo se debe ser cuidadoso ya que las plántulas de quínoa son muy débiles y fácilmente se pueden enterrar o dañar. Por último, el control químico parece ser una alternativa factible, pero es necesario profundizar el estudio de herbicidas tanto a la siembra como de post emergencia, ya que hay interacciones que aún se desconocen. De cualquier manera, es necesario entender que un adecuado herbicida para recomendar, es sólo un complemento a una serie de prácticas que deben favorecer el crecimiento y desarrollo del cultivo, lo que indirectamente ayudará a disminuir el efecto de las malezas.

Referencias

- Anderson, R. L. 1999.** Cultural strategies reduce weed densities in summer annual crops. *Weed Tech.* 13: 314-319.
- Cárdenas, J. 1987.** Control de malezas en quinua. En: Reunión Nacional sobre Producción, Uso y Comercialización de Quinua. E.E. Santa Catalina. INIAP, Ecuador.
- Cavers, P.B., I.J. Bassett, and C.W. Crompton. 1980.** The Biology of Canadian Weeds: *Plantago lanceolata* L. *Canadian Journal of Plant Science* 60(4): 1269-1282.

- Jacobsen, S. E; J. L. Christiansen, J.L. and J. Rasmussen. 2010.** Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Outlook on Agriculture 39 (3): 323–327.
- Johnson D.L y R.L. Croissant. 1985.** Quinoa Production in Colorado. Service-In-Action, N° 112. Colorado State University Cooperative Extension, Ft. Collins, CO.
- Ormeño, J. 2005.** Malezas de huertos frutales y vides biología y control. Colección Libros INIA, N° 17. Santiago, Chile.
- Recassens, J., y J. Antoni Conesa. 2009.** Malas hierbas en plántula, guía de identificación. Edicions Universitat de Lleida. España.
- Ross, M. A. y C. A. Lembi. 2009.** Applied Weed Science: including the ecology and management of invasive plants. 3rd edition. Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Warwick, S. I., y R. D. Sweet. 1983.** The Biology of Canadian Weeds: 58. *Galinsoga parviflora* and *G. quadriradiata* (= *G. ciliata*). Canadian Journal of Plant Science, 63(3): 695–709.
- Zimdahl R. L. 2013.** Fundamentals of Weed Science. 4th edition. Elsevier Academic Press., San Diego CA, USA.

Capítulo 7.

Plagas y enfermedades en el cultivo de quínoa

Andrés Zurita-Silva

Ing. Agrónomo Mg. Sc. Dr.
andres.zurita@inia.cl

Carlos Quiroz

Ing. Agrónomo MSc. Ph.D.
cquiroz@inia.cl

Introducción

Las plagas y enfermedades afectan la productividad y calidad de los cultivos a nivel mundial, a pesar de los múltiples esfuerzos realizados en el desarrollo de métodos de control. Se ha estimado que un tercio de la producción de los cultivos se pierde anualmente por daños ocasionados por agentes bióticos, aun cuando se haya utilizado plaguicidas y cultivares con resistencia genética a plagas y enfermedades. Las pérdidas son generalmente más grandes en la agricultura de subsistencia, debido en particular a que en este tipo de agricultura las medidas apropiadas y/o tecnologías no están disponibles, o se desconocen, o bien porque la experiencia e infraestructura para diagnosticar y controlar los problemas ocasionados por plagas y enfermedades no están utilizables en el sitio. En tanto, en la agricultura intensiva, los agentes bióticos que provocan pérdidas económicas son blancos móviles que evolucionan en respuesta a las prácticas agrícolas y a los cambios ambientales, adaptándose y haciéndose tolerantes o resistentes al uso intensivo de plaguicidas. La emergencia y diseminación de nuevas plagas y enfermedades, o biotipos más agresivos o resistentes a los plaguicidas, son ejemplos de dicha evolución.

Plagas

A nivel mundial son muchas las plagas capaces de ocasionar daños importantes en la quínoa. Las pérdidas ocasionadas por insectos en este cultivo pueden ser superiores al 40% y afectar a las plantas durante su crecimiento vegetativo, reproductivo, y almacenaje de las semillas. Los problemas en terreno incluyen

principalmente a insectos minadores y barrenadores que se alimentan de hojas, tallos, raíces y granos; insectos masticadores e insectos chupadores que atacan al follaje. El daño foliar provocado por estos insectos se observa en la **Figura 1**. Las pérdidas provocadas por el ataque de insectos varían de acuerdo a factores ambientales, nutricionales, manejo agronómico y sanitario del cultivo, entre y dentro de las temporadas, y las características de suelo y topografía de los terrenos de cultivo.



Figura 1. Larva de noctuido dañando el follaje de quínoa.

Cabe señalar que, además de los insectos, existen otros organismos que afectan al cultivo siendo capaces de provocar mermas considerables, como son los pájaros y roedores, que se alimentan de granos maduros.

Insectos minadores

En la Región Metropolitana se ha reportado daños ocasionados por minadores en el follaje de quínoa, siendo la polilla de la quínoa, *Eurysacca media* Povolný, (Lep., Gelechiidae) la especie más abundante (Lamborot *et al.*, 1999). Es una pequeña polilla de 6,5-7,0 mm de envergadura, cuyas larvas son minadoras, produciendo galerías en hojas, tallos e inflorescencias, y además pueden destruir una gran cantidad de semillas. Los adultos son de color grisáceo, con las

alas anteriores moteadas, con grupos de escamas negruzcas. Su actividad es crepuscular y nocturna, las hembras colocan huevos sobre las hojas tiernas, tallos, brotes e inflorescencias de amarantáceas cultivadas y silvestres. El huevo mide aproximadamente 0,4 mm y es ligeramente ovalado, liso, de color blanco cremoso cuando está recién puesto y posteriormente anaranjado suave, presentando una zona más oscura que corresponde a la cápsula cefálica de la larva. Al nacer, la larva es de color amarillo verdoso claro y se introduce en el parénquima foliar dejando pequeñas galerías. Después de haber mudado dos veces, la larva emerge dejando un pequeño orificio y se alimenta externamente, aunque siempre protegida, ya sea pegándose a hojas y brotes, o introduciéndose en las inflorescencias. Las larvas del último estadio miden 1,0-1,2 cm y son de color pardo claro, con manchas más oscuras; al ser amenazadas mueven activamente su cuerpo, con rápidas contorsiones. Pupan en el suelo o entre la hojarasca. Su importancia en la quínoa radica en que minan las hojas en etapas tempranas de desarrollo de la planta, así como también brotes e inflorescencias en formación, y posteriormente consumen granos en el interior de las panojas. Es interesante señalar que la quingüilla (*Chenopodium album*), maleza de amplia distribución en el territorio, es un reservorio importante de la polilla y sus parasitoides durante el invierno. Se han registrado daños importantes también por *Eurysacca melanocampta* (Figura 2).



Figura 2. Daño, adulto y larva de *Eurysacca* en follaje de quínoa.
(Fuente: FAO, 2016).

Otra especie minadora determinada en Chile también corresponde a una polilla, *Coleophora versurella* Zeller (Lep, Coleophoridae), de amplia distribución en Chile, entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía. Los adultos miden de 11 a 15 mm de envergadura, y se ha determinado que desarrollan su ciclo preferentemente en *Amaranthus hybridus* L., especie Amaranthaceae al igual que la quínoa. Sus dos primeros estadios larvarios son minadores de hojas; posteriormente la larva se rodea de un pequeño cesto alargado, de color grisáceo y se alimenta principalmente de la semilla. Pupa dentro del cesto, ya sea en la misma planta o en lugares protegidos. Su presencia ha sido variable en quínoa, coincidiendo con la floración-maduración. En panojas de quínoa colectadas en Cauquenes se encontró causando un daño importante, coincidente con la mayor abundancia de esta especie observada de diciembre a mayo en las regiones del Maule y Biobío. Asimismo, se encontraron larvas en diversos estados de desarrollo en quingüilla.

Otro grupo importante de insectos minadores lo constituyen las llamadas moscas minadoras (Diptera, Agromyzidae), cuyas larvas provocan daños, siendo especialmente abundante *Liriomyza huidobrensis*, aunque no hay determinaciones cuantitativas de su aparición ni distribución en Chile en quínoa. Tiene un amplio rango de hospederos pero se considera una plaga secundaria del cultivo. Causan daños en hojas y tallos, perforando la epidermis de la hoja para alcanzar el tejido parenquimático, del cual se alimentan produciendo galerías o “minas” que forman a medida que se van alimentando, las que posteriormente se oxidan produciendo una necrosis foliar (**Figura 3**).



Figura 3. Adultos y daños provocados por mosca minadora (*Liriomyza*) en quínoa. (Fuente: FAO, 2016).

Insectos masticadores

Muchas especies de lepidópteros de la Familia Noctuidae, cuyas larvas son muy voraces, han sido reportadas como importantes plagas de la quínoa. Este grupo de insectos incluye, entre otros, a los géneros *Copitarsia*, *Rachiplusia* y *Achryra*, causantes de serios daños al cultivo, tanto en Chile como en otros países andinos, desde Colombia hasta Argentina, y en las mayores zonas de producción de Bolivia y Perú.

En Chile existen antecedentes del daño producido por la cuncunilla de las hortalizas, *Copitarsia turbata*, especie muy polífaga que se desarrolla en muchos cultivos hortícolas y de chacarería. Esta especie se reporta en Bolivia y Perú como una de las plagas más importantes de la quínoa, particularmente en la zona de influencia del lago Titicaca, donde junto con la polilla de la quínoa causan pérdidas económicas del orden del 30%. El tipo de polilla y daño se observa en la **Figura 4**. Las hembras oviponen en forma aislada huevos estriados de color blanco en el envés de las hojas y tallos, desde fines de septiembre. Las larvas recién nacidas son de color verde claro, a veces con franjas longitudinales oscuras; los estados más avanzados presentan variaciones de colores, desde verde, verde con franjas oscuras, pardo verdoso a pardo. A diferencia de los gusanos cortadores, que son nòctuidos que tienen el hábito de esconderse en el suelo durante el día, las larvas de *C. turbata* se alimentan expuestas durante el día, y se les encuentra sin dificultad sobre el follaje de las plantas. La abundancia de



Figura 4. Larvas y daño de *Copitarsia* sobre hojas de quínoa.
(Fuente: FAO, 2016).

esta especie es variable de año en año, debido probablemente a factores climáticos que pueden incidir directamente sobre la especie o la abundancia de sus enemigos naturales. En quínoa, poblaciones larvarias densas destruyen botones florales, flores y glomérulos, además de brotes, tallos y hojas tiernas. Cuando completan su desarrollo larvario van al suelo, donde pupan. El comportamiento polífago de este insecto, y su presencia cosmopolita lo convierten en una plaga potencial importante donde se vaya a introducir y desarrollar el cultivo.

Otra de las especies que ataca al cultivo de quínoa en Chile es la cuncunilla verde del frejol, *Rachiplusia nu*. Esta especie es considerada como una de las plagas más frecuentes en cultivos de leguminosas y otras familias de hortalizas. En Chile está distribuida desde Arica y Parinacota hasta la región de Los Lagos. Las hembras, de vuelo diurno, ponen en forma aislada huevos estriados de color blanco en el envés de las hojas y en los tallos. Las larvas de color verde claro, consumen follaje y se les denomina larvas medidoras, al curvar el cuerpo cuando caminan, ya que tienen un par menos de patas abdominales. En quínoa esta especie es ocasional, aunque se ha colectado abundantes huevos y larvas durante noviembre.

Otro lepidóptero encontrado en quínoa es la polilla del amaranto, *Achryra similalis*. Este insecto de la Familia Pyralidae se distribuye en Chile entre las regiones de Arica y Parinacota y O'Higgins. Causa daños ocasionales en cultivos como papa, melón y acelga. En quínoa la larva produce gran cantidad de tela en las hojas, con las que forma refugios en los cuales se esconde rápidamente ante amenazas, y de los que sale parcialmente para alimentarse del follaje e inflorescencias. El adulto es una polilla grisácea-dorada. La aparición y colecta de especímenes en quínoa se ha efectuado en forma esporádica, por lo que a pesar de ser potencialmente dañina, no tiene usualmente mayor relevancia en este cultivo.

Insectos chupadores (áfidos o pulgones)

Dos especies de pulgones (Hemíptera, Aphididae) se encontraron en un jardín de líneas seleccionadas del programa de fitomejoramiento de quínoa, en la Parcela Experimental Pan de Azúcar de INIA, Región de Coquimbo, durante la temporada 2014. Estos fueron *Aphis gossypii* y *Macrosiphum euphorbiae*.

Aphis gossypii Glover, pulgón del melón o pulgón del algodón, es una especie de colores variables. Los adultos, cuyo tamaño varía entre 1 y 2 mm, son desde verde muy oscuro a casi negro, mientras que las ninfas pueden ser más claras, desde amarillo verdoso a grisáceas o negras (**Figura 5**). Las patas son de colores claros pero con tarsos negros, al igual que los cornículos; antenas claras con extremo distal negro. Es una especie cosmopolita, que se encuentra en Chile desde Arica a Biobío. Es extremadamente polífaga, con una gran cantidad de hospederos entre hortalizas, plantas ornamentales y algunas especies frutales como cítricos. A nivel mundial es considerada una plaga mayor en algodón y cucurbitáceas.

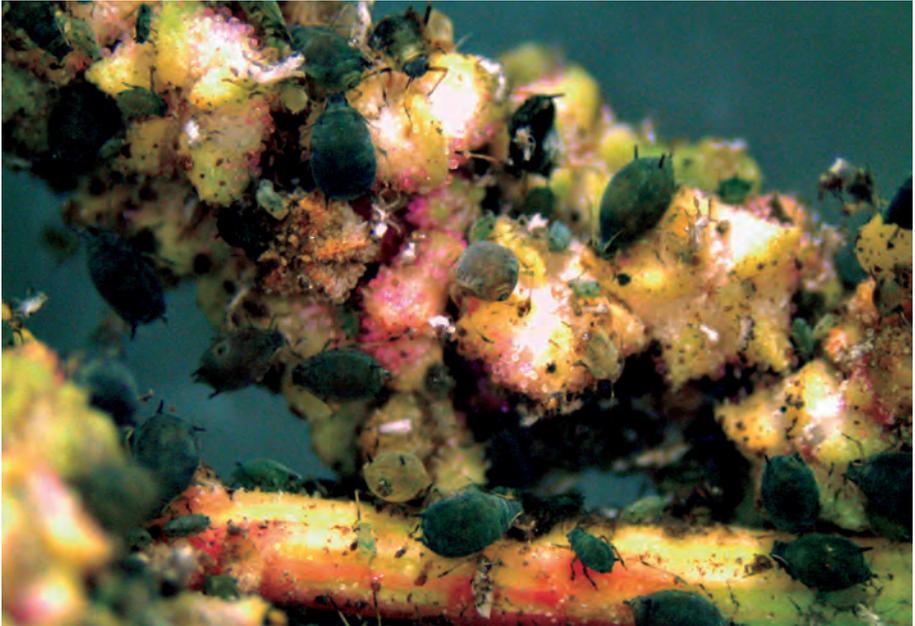


Figura 5. Adultos y ninfas de *Aphis gossypii* en panoja de quínoa.

La otra especie encontrada fue *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), o pulgón de la papa. Es también una especie cosmopolita que en Chile está presente desde Arica a Magallanes atacando una gran cantidad de especies vegetales. A nivel mundial tiene más de 200 hospederos entre flores, leguminosas, cítricos, papas

y otras solanáceas, más otras familias de hortalizas. Son pulgones más bien grandes, cuyos adultos tanto ápteros como alados miden hasta 4 mm. Tienen forma alargada, son de color verde, presentan antenas, cornículos y cauda muy largos y del mismo color del cuerpo, al igual que las patas. Ojos de color rojo. Pueden presentar formas rojizas pero son menos abundantes (**Figura 6**).



Figura 6. Colonia de *Macrosiphum euphorbiae* en planta de quínoa.

Áfidos en la quínoa

Estas especies no han sido reportadas anteriormente en quínoa. Ambos áfidos se encontraron atacando las panojas entre los estados fenológicos de grano lechoso y madurez fisiológica, en algunos casos en densas colonias de ninfas y adultos ápteros y alados. Las panojas infestadas presentaban una capa densa y pegajosa de fumagina cubriendo los granos, producto de la excreción de mielecilla de estos áfidos (**Figura 7**). Asimismo, fue posible observar la acción de control natural, destacando la presencia de coccinélidos y chinches míridos depredadores. En áreas donde las poblaciones de áfidos sean elevadas, el riesgo de transmisión de enfermedades virales puede ser alto, por lo que se sugiere tomar medidas



Figura 7. Daño por fumagina, asociado a la excreción de mielecilla de áfidos.

de manejo de estos vectores, como por ejemplo el uso de cercos vivos, trampas pegantes amarillas, o cuando el daño sea muy masivo, el uso de insecticidas.

Otros insectos

Otros insectos han sido reportados en toda la región andina e incluso en otras regiones donde el cultivo se ha expandido en años recientes (**Cuadro 1**) y que pueden ser potenciales plagas en Chile. Este es el caso de *Eurysacca melanocampta* (Meyrick) y *E. quinoae* Povolný, encontradas en Perú y Bolivia, y están entre las plagas de insectos más dañinas que atacan la quínoa en esta región. Estas especies, que se diferencian por los patrones o dibujos existentes en sus alas, son abundantes y destructivas en todos los estados de crecimiento de la planta, particularmente durante la maduración de los granos. *E. melanocampta* se distribuye a lo largo del hábitat xero-montañoso (aproximadamente entre los 1.900 y 4.350 m sobre el nivel del mar) desde el Altiplano en Chile y Argentina por el sur hasta Colombia por el norte, mientras que *E. quinoae* actualmente se distribuye por todo Perú.

Cuadro 1. Insectos y plagas que causan daños en plantas de quínoa en la región andina, indicando en negrita las especies determinadas en el cultivo en Chile. (Modificado de Saravia *et al.*, 2014).

Orden	Familia	Género	Especie	
Lepidóptera	Coleophoridae	<i>Coleophora</i>	<i>C. versurella</i>	
	Gelechiidae	<i>Eurysacca</i>	<i>E. media</i>	
			<i>E. melanocampta</i> (Meyrick) <i>E. quinoae</i> Povolný	
	Geometridae	<i>Perizoma</i>	<i>P. sordescens</i> Dognin	
	Noctuidae	<i>Agrotis</i>	<i>A. ipsilon</i> (Hufnagel)	
			<i>Copitarsia</i>	<i>C. decolora</i> Guenée
				<i>C. incommoda</i> Walker
				<i>C. turbata</i> Herrich Schaeffer
			<i>Dargida</i>	<i>D. graminivora</i> Walker
				<i>D. acanthus</i> Herrich Schaeffer
			<i>Feltia</i>	<i>F. experta</i> Walker
			<i>Helicoverpa</i>	<i>H. quinoa</i>
				<i>H. titicacae</i> Hardwick
				<i>H. atacamae</i>
	<i>H. zeae</i> (Boddie)			
	<i>Heliothis</i>	<i>H. titicaquensis</i>		
		<i>Pseudaletia</i>	<i>P. unipunctata</i> Haworth <i>P. interrupta</i> Maassen	
<i>Rachiplusia</i>	<i>R. nu</i>			
<i>Spodoptera</i>	<i>S. eridania</i> (Cramer)			
	<i>S. frugiperda</i> (J. E. Smith)			
Pyralidae	<i>Achryra</i>	<i>A. similalis</i>		
		<i>Herpetogramma</i>	<i>H. bipunctalis</i> (Fabricius)	
		<i>Spoladea</i>	<i>S. recurvalis</i> (Fabricius)	
		<i>Pachyzancla</i>	<i>Pachyzancla</i> sp.	
		<i>Hymenia</i>	<i>Hymenia</i> sp.	

(Continuación Cuadro 1).

Orden	Familia	Género	Especie
Coleóptera	Bruchidae	<i>Acanthoscelides</i>	<i>A. diasanus</i> (Pic)
	Chrysomelidae	<i>Acalymma</i>	<i>A. demissa</i>
		<i>Calligrapha</i>	<i>C. curvilinear</i> Stal
		<i>Diabrotica</i>	<i>Diabrotica</i> spp. <i>Diabrotica speciosa</i>
		<i>Epitrix</i>	<i>E. subcrinita</i> LeConte, <i>E. yanazara</i> Bechyne
	Curculionidae	<i>Adioristus</i>	<i>Adioristu</i> spp.
	Meloidae	<i>Epicauta</i>	<i>E. latitarsis</i> Haag
			<i>E. marginata</i> Fabricius <i>E. willei</i> Denier
		<i>Meloe</i>	<i>Meloe</i> sp.
	Melyridae	<i>Astylus</i>	<i>A. luteicauda</i> Champ <i>A. laetus</i> Erichson
Tenebrionidae	<i>Pilobalia</i>	<i>Pilobalia</i> sp.	
Homóptera	Aphididae	<i>Aphis</i>	<i>A. craccivora</i> Koch <i>A. gossypii</i> Glover
		<i>Macrosiphum</i>	<i>M. euphorbiae</i> (Thomas)
		<i>Myzus</i>	<i>M. persicae</i> (Sulzer)
Hemíptera	Cicadellidae	<i>Anacuerna</i>	<i>A. centrolinea</i> (Melichar)
		<i>Bergallia</i>	<i>Bergallia</i> sp.
		<i>Borogonalia</i>	<i>B. impressifrons</i> (Signoret)
		<i>Empoasca</i>	<i>Empoasca</i> spp.
		<i>Paratanus</i>	<i>Paratanus</i> spp. <i>P. exitiosus</i> (Uhler) <i>P. yusti</i> Young
	Lygaeidae	<i>Geocoris</i>	<i>Geocoris</i> sp.
	Miridae	<i>Rhinacloa</i>	<i>Rhinacloa</i> sp.
	Nabidae	<i>Nabis</i>	<i>Nabis</i> sp.
Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella</i>	<i>F. tuberosi</i> Moulton <i>F. tabaci</i> Lindeman
Díptera	Agromyzidae	<i>Liriomyza</i>	<i>L. huidobrensis</i> Blanchard
Ortóptera	Gryllidae	<i>Gryllus</i>	<i>G. assimilis</i> Fabricius

Enfermedades

La quínoa está expuesta al ataque de un amplio rango de microorganismos tales como bacterias, hongos, nemátodos y virus, con una intensidad de daño variable, dependiendo de las condiciones ambientales. Los virus son reconocidos por infectar la planta, pero se desconocen reportes de daños significativos en las condiciones donde se cultiva en Chile, a pesar de que esta planta se ha usado durante mucho tiempo como especie indicadora de virus.

Enfermedades bacterianas

El cultivo de quínoa rara vez se infecta por bacterias y los casos de ataque bacteriano se han reportado con baja frecuencia. Ejemplo de ello es la región alrededor de Puno, Perú, en donde el tizón bacteriano o mancha bacteriana causa daños significativos durante el periodo de maduración del grano. La enfermedad es transmitida por semilla y se cree que el agente causal es *Pseudomonas* spp. La propagación de la enfermedad en el campo es ayudada por las heridas causadas por granizo, lluvia y la tierra húmeda.

Enfermedades fungosas

La enfermedad más severa en quínoa a nivel mundial es la provocada por mildiú, cuyo agente causal es *Peronospora variabilis* (anteriormente denominado *Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii* (Fr.) Fr.), del cual se sabe que puede causar una reducción del rendimiento de 30-60%, incluso en los cultivares o variedades más resistentes. Bajo condiciones favorables para el hongo, pueden llegar a ocasionar pérdidas tan devastadoras como el 100% de las cosechas. El Mildiú (*Peronospora variabilis*) ha sido reconocido como un factor limitante en la quínoa, provocando reducciones y pérdidas en las cosechas no tan solo en cultivares susceptibles. Esta enfermedad fue descrita inicialmente como endémica en Chile, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, pero recientemente han aparecido reportes de Canadá y Europa, y el primer reporte de mildiú en quínoa provocado por *Peronospora variabilis* en parcelas experimentales en Pennsylvania (USA), demostrando una amplia ocurrencia a nivel mundial. El mildiú también ha sido registrado atacando a *Chenopodium murale* L., una especie amarantácea silvestre de India. La humedad elevada y las temperaturas moderadas también se presentan en lugares como Dinamarca, en donde el mildiú se encuentra frecuentemente asociado a *Chenopodium album* o quingüilla, maleza muy común y cosmopolita relaciona-

da con la quínoa. Esta enfermedad está influida por la temperatura (máximas cercanas a 23°C) y por cierto la humedad relativa (sobre 90%), y su transmisión puede ocurrir a través de las semillas. Este patógeno reduce el área fotosintética debido al desarrollo de manchas y lesiones cloróticas y necróticas en las hojas, provocando su caída prematura.

Los síntomas del mildiú incluyen ataques al follaje, que provocan amarillamiento o enrojecimiento de las hojas, dependiendo del genotipo, y en casos extremos eventualmente resulta en 100% de defoliación o caída de hojas (**Figura 8**). Manchas grises y suaves con estructuras que producen las esporas del patógeno (esporangios) se pueden observar en el envés de las hojas, actuando como la fuente primaria de inóculo (oosporas), las cuales se propagan por el viento y la lluvia. La disminución de la capacidad fotosintética debilita la planta y se detiene la producción de semillas. La defoliación es la principal causa de pérdida de rendimiento. El mildiú requiere condiciones específicas de germinación e infección,



Figura 8.
Follaje mostrando ataque de *Peronospora* en quínoa cultivada en Atacama.

y prolifera con humedades sobre el 80% y temperaturas templadas entre 15 y 20°C. Durante periodos con condiciones secas y cálidas, la infección permanece en dormancia como oosporas en las semillas y el suelo. Además puede sobrevivir en tejidos hospederos hasta que las condiciones ambientales sean favorables para un crecimiento y producción de esporas continuo.

Diversos estudios han sugerido que la resistencia al mildiú en quínoa es un carácter complejo, y que los cultivares resistentes, tradicionalmente desarrollados mediante cruzamientos dirigidos y/o selección masal, pueden ser asistidos eficazmente con el uso de selección asistida por marcadores moleculares, para incorporar los principales genes de resistencia a la enfermedad.

Otras enfermedades reportadas, cuya incidencia no se ha cuantificado en el país, incluyen al complejo de pudrición del tallo, mal de almaciguera o marchitez a la emergencia (caída de plántulas), enfermedad que fue determinada en plantas de quínoa en la década de 1980. Varios patógenos han sido identificados: el agente causal *Sclerotium rolfsii* fue aislado de las plántulas afectadas. Otro hongo causal del género *Fusarium* también fue aislado junto con *Rhizoctonia solani*, desde un campo experimental de quínoa en el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú. Un estudio más reciente demostró que *Pythium aphanidermatum* y *Fusarium avenaceum* fueron los agentes causales de la caída de plántulas de quínoa. Se ha determinado además que la quínoa fue altamente susceptible a *P. aphanidermatum*, especialmente durante la fase de germinación hasta el final de la formación de hojas cotiledonares. No obstante, desde ahí se registró mayor susceptibilidad a *F. avenaceum* en el estado de hojas cotiledonares y el primer par de hojas verdaderas.

Se ha determinado la expansión del área con presencia de daños por Pudrición marrón del tallo, cuyo agente causal es el hongo *Phoma exigua* var. *foveata*. Los principales síntomas son lesiones café oscuro de 5–15 cm de largo, con bordes vítreos en tallos e inflorescencias, además de provocar clorosis, defoliación y tallos encogidos. Esta enfermedad fue observada en Puno (Perú) en los años '70 y ha sido reportada frecuentemente en el Altiplano peruano, al igual que en áreas de cultivo de quínoa de Norteamérica y el Reino Unido. Las bajas temperaturas, la alta humedad y la presencia de heridas favorecen al patógeno. Otra enfermedad de creciente importancia es la Mancha foliar, la cual es causada por *Ascochyta hyalospora*, hongo anamorfo de Ascomycota. El hongo es transmitido por semillas y se ve favorecido por altas temperaturas. Los principales síntomas de la mancha de la hoja de quínoa incluyen puntos de luz de área indefinida en las

hojas que se unen hasta que las manchas cubren toda la hoja. El hongo también causa pardeamiento leve a severo en las raíces e hipocótilos de las plántulas. La transmisión ocurre cuando los picnidios se producen en los tejidos internos. Otra especie, *Ascochyta caulina*, se ha aislado a partir de semillas de quínoa de origen checo. Las pruebas de germinación mostraron que el hongo produce pardeamiento leve a severo en la raíz y los hipocótilos, y algunas de las plántulas infectadas más gravemente murieron. Finalmente, el moho gris, causado por *Botrytis cinerea*, el cual es un hongo que mata a la planta hospedera con el fin de obtener todos los nutrientes que necesita (necrotrófico), se observó atacando la variedad chilena 'Regalona Baer' en siembras realizadas en Cambridge (Gran Bretaña). Los principales síntomas de este patógeno incluyen lesiones grises de forma irregular en el tallo y la inflorescencia de plantas maduras, senescencia foliar y peso reducido.

Nemátodos

Los nemátodos son gusanos muy pequeños de 300 a 1.000 micras (lo que impide observarlos a simple vista), parecidos a lombrices o con forma de anguila, más o menos transparentes que parasitan el sistema radical, afectando los tejidos de raíces, y con hábitos de alimentación que varían desde migratorios (ectoparásitos) a sedentarios que ponen sus huevos en las células de raíces (endoparásitos), formando pequeños quistes. En quínoa, este grupo de fitopatógenos representado por las especies *Nacobbus aberrans* (falso nemátodo del nudo) y *Thecavermiculatus andinus* (nemátodo de la oca), han provocado daños significativos en la región Andina. Tanto *N. aberrans* como *T. andinus* dañan al cultivo y también atacan a la papa, lo que afecta la productividad de los agricultores andinos. El falso nemátodo del nudo provoca en la planta hospedera la producción de nódulos en las raíces, ya que las hembras alargadas están encerradas en estos nódulos, junto con una matriz gelatinosa sobresaliente que contiene los huevos, los cuales permanecen en el suelo dentro de los tejidos de raíces pequeñas durante la etapa de supervivencia. El nemátodo está adaptado a un amplio rango de condiciones climáticas y posee un rango de hospederos de 17 familias y 65 especies. En Sudamérica, este nemátodo ha sido detectado principalmente en Perú, Bolivia, Chile, Ecuador y Argentina.

El nemátodo de la oca (*T. andinus*) se distribuye en suelos alrededor del lago Titicaca y ataca a diferentes cultivos andinos como quínoa, papas, lupino, oca o ñame (*Oxalis tuberosa*) y olluco (*Ullucus tuberosum*). El rango de hospederos del nemátodo incluye más de 80 especies vegetales. En experimentos de invernadero

se ha demostrado un efecto de disminución de la altura de las plantas, diámetro del tallo, peso fresco y seco de hoja, junto con una reducción significativa en el rendimiento por acción del nemátodo.

Otro nemátodo fitopatógeno, *Globodera* spp., conocido comúnmente como “nemátodo del quiste de la papa”, solamente ataca plantas de la familia Solanácea y posee un limitado rango de hospederos. No obstante, diversos cultivares de quínoa han sido identificados como “trampa” o “antagonista”. Así, a pesar de que la quínoa no es un hospedero de *Globodera*, se ha determinado que ciertas líneas se comportan como “trampas” porque sus raíces son eficientes estimuladores de la incubación y las raíces son invadidas, pero no ocurre desarrollo o multiplicación del nemátodo.

Conclusiones

En Chile, las principales especies determinadas son los insectos minadores *Eurysacca media*, *Coleophora versurella* y *Liriomyza* sp.; en cuanto a insectos masticadores los principales son *Copitarsia turbata* (cuncunilla de las hortalizas), *Rachiplusia nu* (cuncunilla verde del frejol), y *Achryra similalis* (polilla del amaranto). Asimismo, en la Región de Coquimbo se detectaron las especies de pulgón *Aphis gossypii* y *Macrosiphum euphorbiae* en un jardín de líneas seleccionadas del programa de fitomejoramiento de quínoa. En tanto, la presencia de enfermedades bacterianas se ha reportado con baja frecuencia siendo la principal el tizón bacteriano o mancha bacteriana, cuyo agente causal es *Pseudomonas* spp. La enfermedad fungosa más severa a nivel mundial en quínoa es el mildiú, cuyo agente causal es *Peronospora variabilis*, que bajo condiciones favorables puede ocasionar pérdidas completas de las cosechas, siendo limitante no sólo en cultivares susceptibles. Otras enfermedades reportadas incluyen al complejo de pudrición del tallo o caída de plántulas, asociada a varios patógenos como *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* y *Fusarium avenaceum*. Otros daños a nivel foliar son provocados por la Pudrición marrón del tallo, *Phoma exigua* var. *foveata*, la Mancha foliar causada por *Ascochyta hyalospora*, y el moho gris causado por *Botrytis cinerea*. Finalmente los nemátodos fitopatógenos *Nacobbus aberrans* (falso nemátodo del nudo) y *Thecavermiculatus andinus* (nemátodo de la oca) causan daños significativos a la quínoa en la región andina, estando el primero de ellos presente en el país.

Con el dinámico movimiento de la quínoa, existe el riesgo latente de dispersión de plagas y enfermedades a agroecosistemas similares en las zonas andinas de otros países de Sudamérica, por lo cual se requiere medidas integradas que permitan combinar cultivares resistentes, manejos agronómicos sustentables, y medidas de control y saneamiento eficientes, lo cual permitirá desarrollar en plenitud el potencial de esta noble especie.

Referencias

- Bhargava A., Srivastava S. 2013.** Quinoa: Botany, Production and Uses. CABI, United Kingdom. 264 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016.** Guía de identificación y control de las principales plagas que afectan a la quinua en la zona andina. Santiago de Chile. 92 p. Disponible en línea: www.fao.org/3/a-i5519s.pdf.
- Lamborot Chastia L., Guerrero S., M. Angélica. Araya Clericus, Jaime Eduardo. 1999.** Lepidópteros asociados al cultivo de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) en la zona central de Chile. Boletín sanidad vegetal. Plagas. 25(2): 203-208.
- Plata G., Gandarillas A. 2014.** The most important diseases affecting the quinoa crop in Bolivia. Revista de agricultura (Bolivia) 54: 19-28.
- Saravia R., Plata G., Gandarillas A. 2014.** Plagas y Enfermedades del Cultivo de Quinoa. Cochabamba, Bolivia. Fundación PROINPA. 148 p.
- Saravia R., Quispe R., Crespo L. 2014.** Lepidoptera associated to quinoa crop in the Bolivian Altiplano: Taxonomic updating. Revista de agricultura (Bolivia) 54: 46-52.
- Zurita-Silva A., Fuentes F., Zamora P., Jacobsen S.-E., Schwember A.R. 2014.** Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. Molecular Breeding 34:13-30.



Boletín INIA / N° 362
www.inia.cl

