

QUÍNOA DEL SUR DE CHILE

Alternativa productiva y
agroindustrial de alto valor

EDITOR

Jorge Díaz Sánchez

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Colección Libros INIA N° 38

Temuco, Chile 2019



I.S.S.N.: 0717-4713

Registro de Propiedad Intelectual
Inscripción N° 2020-A-195

Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación
INIA Carillanca

Editor:

Jorge Díaz S., Ing. Agrónomo Dr.

Comité Editor:

Gabriela Chahín A., Ing. Agrónomo
Carlos Fuentes B., Ing. Agrónomo Mg.
Jaime Mejías B., Ing. Agrónomo Ph.D
Lilian Avendaño F., Periodista, Mg. Marketing
Corporativo

“Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin permiso del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. La presente publicación fue realizada en el contexto del proyecto “Tecnologías para potenciar el cultivo de quínoa como opción productiva para la agricultura familiar en la zona centro sur de Chile”, que contó con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).”

Diseño y diagramación: Lola de la Maza
Impresión: Trama impresores
Cantidad Ejemplares: 300

Temuco, Chile 2019.

QUÍNOA DEL SUR DE CHILE
Alternativa productiva
y agroindustrial de alto valor

EDITOR

Jorge Díaz Sánchez

Temuco, Chile 2019

AUTORES

Jorge Díaz S., Ingeniero Agrónomo, Dr. INIA

Mario Mera K., Ingeniero Agrónomo, Ph.D. INIA

Rafael Galdames G., Ingeniero Agrónomo, Dr. INIA

Rafael López-Olivari, Ingeniero Agrónomo, MSc, Dr. INIA

Ivette Seguel B., Bióloga. MSc.

Arturo Morales M. Ingeniero Agrónomo. INIA

Patricia D. Navarro, Ingeniero Agrónomo. Ph.D. INIA

Ricardo Campillo R., Ingeniero Agrónomo, MSc.

Luis Torralbo B., Ingeniero Agrónomo. Mg. UFRO

Susana Valenzuela A. Ingeniero en Alimentos. UFRO.

Guillermo Contreras J., Técnico Universitario en Producción Agrícola, INIA

Lorena Díaz A., Ingeniero Agrónomo ©. INIA

José Miguel Alcalde R., Ingeniero Agrónomo. INIA

Ingrid von Baer J., Ingeniero Agrónomo. Asesora



ÍNDICE

Introducción	4
Jorge Díaz S., Ivette Seguel B.	
Capítulo 1. Caracterización de germoplasma de quínoa del sur de Chile	7
Arturo Morales M., Ivette Seguel B., Lorena Díaz A.	
Capítulo 2. Caracterización nutricional de la colección de quínoa del sur de Chile	24
Susana Valenzuela A., Ivette Seguel B.	
Capítulo 3. Establecimiento de la quínoa	37
Mario Mera K., José Miguel Alcalde R., Ingrid von Baer J., Jorge Díaz S.	
Capítulo 4. Gestión nitrogenada y potásica del cultivo de quínoa en La Araucanía	45
Ricardo Campillo R., Guillermo Contreras J.	
Capítulo 5. Control de malezas en quínoa	69
Jorge Díaz S., Guillermo Contreras J.	
Capítulo 6. Enfermedades parasitarias de la quínoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en Chile	92
Rafael Galdames G.	
Capítulo 7. Insectos asociados al cultivo de quínoa	103
Patricia D. Navarro, Guillermo Contreras J., Sebastián Aguilera	
Capítulo 8. Manejo del agua de riego en quínoa	111
Rafael López-Olivari	
Capítulo 9. Antecedentes de mercado, costos y rentabilidad de producción de la quínoa en la Región de La Araucanía	129
Luis Torralbo B., Jorge Díaz S., Arturo Morales M., Ivette Seguel B., Mario Mera K., Rafael López O., Rafael Galdames G., Ricardo Campillo R.	
Capítulo 10. Prototipos industriales utilizando como materia prima la quínoa	150
Susana Valenzuela A.	





INTRODUCCIÓN

Jorge Díaz S.
Ivette Seguel B.

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) pertenece a la familia Amaranthaceae, género *Chenopodium*, presentando una amplia variabilidad genética y plasticidad lo que le permite adaptarse y crecer bajo diferentes condiciones climáticas y tipos de suelos. Su cultivo data desde hace más de 7 mil años en la región andina de sudamérica, y actualmente se distribuye en un amplio rango de latitudes y altitudes, desde Colombia hasta el sur de Chile.

La quínoa es una rica fuente de proteínas, presentando un perfil balanceado de aminoácidos esenciales, y que además contiene una cantidad adecuada de carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales que incrementan su valor nutritivo. Su consumo es cada vez más popular entre las personas interesadas en mejorar y mantener su estado de salud mediante el cambio de los hábitos alimenticios, ya que es un excelente ejemplo de "alimento funcional" (contribuye a reducir el riesgo de varias enfermedades y/o ejerce beneficios para la salud). Esto explica en parte las razones por las cuales la quínoa ha ido ganando popularidad en los mercados internacionales, transformándose en un producto relevante para los consumidores que buscan una alimentación saludable.

Por otra parte, países como Perú, Bolivia y Ecuador son los principales productores y exportadores mundiales, que concentran aproximadamente el 80% del valor y más del 70% de los volúmenes de comercialización. Mientras que Chile mantiene una posición rezagada en producción y superficie. Según un estudio realizado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), en la temporada agrícola 2015-2016 se alcanzó una producción de 620 toneladas en una superficie aproximada de 706 ha con un rendimiento promedio de 1.000 kg ha⁻¹.

Los desafíos que enfrenta la quínoa para transformarse en una real alternativa productiva son diversos, siendo uno de los más relevantes la escasez de semilla certificada, ya que en la actualidad en Chile existe solo una variedad registrada. Un segundo tema es la falta de tecnologías y prácticas agronómicas que permitan optimizar el cultivo a una escala comercial, con una estimación real de los costos de producción y rentabilidad. Otra brecha es la carencia de prototipos industriales que permitan agregar valor a la producción. Como respuesta a estos desafíos es que entre el 2015 y 2018 se ejecutó el

proyecto **“Tecnologías para potenciar el cultivo de quínoa como opción productiva para la AF en la zona centro-sur de Chile”**, cofinanciado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), código PYT-2015-0113. INIA Carillanca actuó como ente responsable de la propuesta y como asociados participaron el Instituto de Agroindustria de la Universidad de la Frontera, la Municipalidad de Vilcún, Agroforestal La Esperanza, SAG, INDAP y las comunidades mapuche Domingo Canio N°2, Domingo Caniu, Antonio Paine y Antonio Paine de Curileo. Estos últimos fueron beneficiarios directos de las tecnologías desarrolladas, lo que les permitió incorporar la quínoa en sus sistemas productivos y conformar una organización en torno al cultivo.

Los resultados de investigación y de transferencia tecnológica dieron origen a esta publicación, cuyo objetivo es proveer información relevante a los productores, técnicos, emprendedores, principalmente del sur de Chile, y en general a toda la comunidad interesada en este notable cultivo.



Capítulo 1

CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA DE QUÍNOA DEL SUR DE CHILE

Arturo Morales M.
Ivette Seguel B.
Lorena Díaz A.

1.1 Recursos Fitogenéticos y Bancos de Germoplasma

La FAO (2009) define los recursos fitogenéticos como cualquier material genético de origen vegetal con valor real o potencial para alimentación y agricultura, y reconoce que la conservación, prospección, recolección, caracterización, evaluación y documentación de los recursos fitogenéticos son esenciales para alcanzar los objetivos de la Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial. Además, distingue tres valores en relación a la importancia de la conservación de la variabilidad genética vegetal:

- 1) La diversidad genética ayuda a proporcionar estabilidad a los sistemas agrícolas a nivel local, nacional y mundial, a través del mantenimiento de una amplia gama de cultivos y de diversidad dentro de los cultivos. Las pérdidas debidas a la falta de un determinado cultivo o variedad se compensan por el rendimiento de otros cultivos o variedades
- 2) La diversidad genética proporciona un seguro frente a futuras condiciones adversas. Los recursos genéticos constituyen reservorios de características genéticas, tales como resistencia a enfermedades o adaptabilidad a nuevas condiciones climáticas
- 3) La diversidad genética representa un valor potencial, aún con los recursos desconocidos, razón para mantener los ecosistemas silvestres y los sistemas agrícolas tradicionales.

Según Kimatu *et al.*, 2004, la utilización de esta diversidad puede utilizarse como una plataforma en la búsqueda de nuevos ecotipos con genes novedosos que puedan incorporarse en programas de mejoramiento de cultivos.

En este sentido, los Bancos de Germoplasma son depósitos de recursos fitogenéticos en los cuales las semillas o plantas se almacenan físicamente y se conservan a corto y largo plazo. Las semillas almacenadas en los bancos de germoplasma son un recurso vital e irremplazable, herencia que debe conservarse para proveer opciones a la agricultura en el futuro, en un mundo que afronta el cambio climático y la seguridad alimentaria de las naciones (FAO, 2014).

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) cuenta con una Red de Bancos de Germoplasma conformada por cinco Bancos Activos y un Banco Base de semillas de especies vegetales, además de un Banco de Microorganismos que conserva la Colección Chilena de Recursos Genéticos Microbianos (CChRGM). El objetivo de esta red es: *"Fortalecer y modernizar el sistema de gestión integral de los Recursos Fitogenéticos y Microbianos, integrados a la Red de Bancos de INIA, para alcanzar niveles óptimos de conservación, de acuerdo con las necesidades del país y estándares internacionales, promoviendo el acceso y el intercambio equitativo para su valoración y uso"*.

1.2 Recurso Genético de Quínoa

La quínoa, quinua o kinwa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es reconocida como un cultivo ancestral. Su cultivo data de la época prehispánica, sin embargo, durante la conquista española se obligó a los pueblos originarios a abandonarla, aun cuando éste era un cultivo de gran importancia por el valor religioso y cultural (Ruas et al., 1999).

Se reconoce como centro de origen de la especie a América Latina, específicamente la zona andina, siendo Perú y Bolivia los centros con mayor diversidad de genotipos y parientes silvestres (Jacobsen et al., 2009 y Christensen et al., 2007). Evidencias arqueológicas, lingüísticas, etnográficas e históricas señalan que en el pasado esta especie tuvo una amplia distribución geográfica en sudamérica que abarcó desde Venezuela y Colombia en el norte, llegando hasta Tucumán en Argentina y al Archipiélago de Chiloé en Chile por el Sur.

Tapia (1990), clasifica la diversidad de quínoas en las zonas de origen en cinco tipos o ecotipos (Cuadro 1). De éstos, dos se encuentran en Chile: las llamadas quínoas de los salares y las quínoas de zonas bajas o del nivel del mar. En este último se encuentran las quínoas del sur de nuestro país, material del presente estudio.

Cuadro 1. Clasificación de la diversidad de ecotipos de quínoa

Ecotipo	País de Origen	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación anual (mm)
Nivel del mar	Chile	0-300	800-1500
Valles interandinos	Colombia, Ecuador y Perú	2500- 3500	700-1500
Altiplánicas	Perú y Bolivia	3500-3800	400-800
Salares	Argentina, Bolivia y Chile	2500-4000	250-400
Yungas	Bolivia	1500-2000	0-2000

Adaptado de Tapia (1990) y Bazile (2014).

Los primeros hallazgos de presencia de quínoa en Chile fueron divulgados por Saffo y Uhle citados por Tapia (1990), cuyos estudios revelan que las evidencias de quínoa en Chile datan, por lo menos, del año 3 mil A.C. Según Núñez citado por Tapia (2014), los primeros hallazgos de quínoa fueron encontrados en restos arqueológicos de la cultura Chinchorro en el norte de Chile. Otros antecedentes son aportados por Towwe, Bollaert y Latcham también citados por Tapia (2014), los que mencionan hallazgos arqueológicos muy antiguos en la zona costera de Arica y en sepulturas de Til Til y Quillahua. Según Massone, citado por Planella (2015), la presencia prehispánica de quínoa en el centro de Chile ha sido confirmada en sitios arqueológicos en el valle

central y costa entre las cuencas de los ríos Choapa y Maule. Más al sur, según este mismo autor, se han encontrado hallazgos en las regiones de Biobío, La Araucanía, Los Lagos y las islas de Chiloé, Mocha y Santa María. Tapia (1990), refiriéndose a la quínoa más austral del mundo hace mención a los relatos del Padre Jesuita Antonio Meconi quien en 1747 relata: “*tan al sur como a orillas del Lago Nahuel Huapi los araucanos cultivan esta especie*”.

La conservación del germoplasma hasta nuestros días ha sido posible gracias a las comunidades locales, que durante miles de años han conservado *in situ* el germoplasma a través de distintas estrategias de manejo e intercambio de semillas y saberes, que han permitido disponer hoy de importantes colecciones. La conservación *in situ* como tal permite mantener la diversidad de los recursos genéticos en los mismos sitios en donde ocurren los procesos evolutivos que determinan su diversificación, estas zonas generalmente corresponde a los centros de origen de los cultivos, en cuyas poblaciones ha habido un proceso de evolución en donde los parientes silvestres han moldeado y acumulado los reservorios de diversidad genética de mayor magnitud que se conocen (Casas, 2016).

Otra forma de conservación de germoplasma es lo que se conoce como conservación *ex situ*, la cual desde su origen surge como una medida complementaria a la conservación *in situ* (Seguel, 2006). Se entiende por conservación *ex situ* el mantenimiento de los organismos fuera de su hábitat natural. Este tipo de conservación permite mantener especies amenazadas o en peligro de extinción, además del germoplasma útil para el mejoramiento, sean estos cultivos o sus parientes silvestres. En los sistemas de conservación *ex situ* los materiales pueden ser conservados en Bancos de Germoplasma, colecciones de campo y/o jardines botánicos. En el caso de los Bancos de Germoplasma de semillas la conservación puede ser de corto y largo plazo. El período de conservación va a depender de los objetivos de conservación, por lo que es posible identificar bancos activos y bancos bases (Kameswara, 2009).

Según Rojas *et al.*, 2013, la quínoa y sus parientes silvestres se conservan *ex situ* en 59 Bancos de Germoplasma distribuidos en 30 países alrededor del mundo, se estima que existen alrededor de 16 mil accesiones conservadas. Dado que en los países andinos es un cultivo de gran relevancia económica y cultural, en éstos se conserva más del 88% de las accesiones del cultivo. En los Bancos de Germoplasma de Bolivia se conservan más de 2 mil 700 accesiones (PROINPA y Universidades Estatales) (Del Castillo *et al.*, 2007). Por su parte, Gómez-Pando *et al.*, 2010, reportan que en Perú se conservan *ex situ* alrededor de 2 mil 500 accesiones de quínoa.

En Chile, el INIA a través de su Red de Bancos de Germoplasma conserva *ex situ* 399 accesiones de quínoa, las cuales provienen de distintas fuentes de recolección. De este total, 274 accesiones se conservan en el Banco Base Vicuña localizado en la Región de Coquimbo. En el caso del Banco Activo Carillanca, localizado en la Región

de La Araucanía, se conservan 125 accesiones, parte importante de esta colección fue aportada para su conservación por la Asociación de Municipalidades de la Precordillera de la Región de La Araucanía y por Semillas Baer. Adicionalmente, la colección cuenta con materiales colectados y repatriados por el Programa de Recursos Genéticos de INIA.

Para evaluar el uso potencial de los recursos genéticos es necesario asegurar una adecuada caracterización de las colecciones. La caracterización del germoplasma tiene como objetivo la identificación de los atributos cualitativos y agronómicos. Los primeros, generalmente asociados a herencia monogénica y cuya expresión puede considerarse invariable en distintas condiciones agroclimáticas (Color de la flor, forma de la semilla, composición isoenzimática, entre otros) (Kameswara, 2007). Los atributos agronómicos, en cambio, permiten determinar caracteres como rendimiento, precocidad, contenido de proteína, resistencia a plagas y enfermedades. Estos caracteres son regidos por herencia poligénica lo que hace que normalmente se vean influidos por las condiciones ambientales a las cuales están expuestos dichos materiales (Seguel *et al.*, 2016).

Para la caracterización de las colecciones conservadas en los Bancos de Germoplasma existe un consenso a nivel global en utilizar los listados de descriptores propuestos para diversos cultivos por *Bioversity International*. Estos descriptores miden en forma estandarizada y consideran datos de pasaporte (Origen o procedencia de la accesión o entrada al Banco de Germoplasma), descripción del manejo en etapas de regeneración y caracterización, descriptores de sitios y ambientes en donde se realizan la caracterización y/o evaluación, y descriptores de evaluación, que pueden incluir evaluaciones agronómicas, bioquímicas u otras. Según Holle (1985), un descriptor es una característica de una población de plantas representada por un número variable de ellas en una o más localidades.

La caracterización de germoplasma es una evaluación precisa de la magnitud de la diversidad genética de las accesiones que componen una colección. Ésta tiene variados objetivos como:

- Identificar características superiores dentro de una población (Smith y Smith, 1992)
- Identificación de genotipos parentales que resulten en progenies con el máximo nivel de variabilidad para continuar con la selección (Barrett y Kidwell, 1998)
- Introgresión de genes deseables en un genotipo o en un fondo genético de interés (Thompson *et al.*, 1998).

La selección de genotipos aptos para la producción comercial depende en gran parte de una adecuada evaluación de la variabilidad genética existente. Es así como a través del proyecto FIA código PYT 2015-0113 se planteó identificar en la colección conservada del Banco Activo de INIA Carillanca, aquellos genotipos con características agronómicas y/o funcionales sobresalientes en términos de rendimiento y calidad (Díaz *et al.*, 2015).

En el caso de la quínoa, estudiar la variación genética es esencial para entender la organización de la diversidad biológica del cultivo en función de su distribución ecogeográfica. De hecho, la identificación de grupos genéticamente distintos es un requisito previo para la elaboración de estrategias de conservación, así como para la gestión de los recursos genéticos en los programas de mejoramiento.

1.3 Caracterización agronómica de las accesiones que conforman la colección de quínoa conservada en INIA Carillanca

La colección de quínoa conservada en INIA Carillanca fue caracterizada de acuerdo a caracteres morfológicos y agronómicos de tipo cuantitativos y cualitativos, además de la evaluación funcional a los genotipos seleccionados. Para la caracterización se utilizó la lista de descriptores de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Cuadro 2) y sus parientes silvestres propuestos por Bioversity International et al., (2013).

Cuadro 2. Listado de descriptores utilizados para la caracterización del Banco de Germoplasma de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) conservado en INIA Carillanca

Descriptor	Unidad	Descriptor	Unidad
Rendimiento por planta	[g]	Nº ramas primarias	nº
Altura planta	[cm]	Peso 1000 semillas	[g]
Días a inicio floración	Días	Color tallo principal	Tabla color
Días a 50% floración	Días	Color panoja	Tabla color
Largo panoja	[cm]	Color lámina foliar	Tabla color
Diámetro panoja	[cm]	Densidad panoja	Rango
Diámetro tallo principal	[cm]	Hábito crecimiento	Rango
Nº dientes por hoja	nº	Posición ramas primarias	Rango
Largo peciolo	[cm]	Color peciolo	Tabla color
Ancho máximo hoja	[cm]	Forma panoja	Rango
Largo máximo hoja	[cm]	Margen hoja	Rango

La caracterización agronómica de la colección de quínoa se realizó bajo condición de secano en dos localidades de la Región de La Araucanía: INIA Carillanca, comuna de Vilcún y Tranapunte, comuna de Carahue, durante las temporadas 2015/ 2016, 2016/ 2017 y 2017/2018 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Datos geográficos de localidades de caracterización colección de quínoa

	INIA Carillanca	INIA Tranapunte
País	Chile	Chile
Región	de La Araucanía	de La Araucanía
Comuna	Vilcún	Carahue
Latitud	-38°69' S	-38°69' S
Longitud	-72°41' O	-73°35' O
Altitud (m.s.n.m.)	174	72

Las condiciones de manejo agronómico fueron estándar, propuesto por especialistas del grupo de trabajo, ya que paralelamente y como parte de la investigación, se trabajó en una propuesta de manejo agronómico del cultivo de la quínoa bajo las condiciones del sur de Chile.

Para la evaluación cuantitativa se registró la media de cinco plantas al azar y las evaluaciones cualitativas se registraron en función del 50% de plantas de la población. Respecto a los descriptores de color, se utilizó como referencia la tabla de colores de la Royal Horticultural Society (RHS) (2015).

En el Cuadro 4 se describen los descriptores utilizados y los resultados de la caracterización de la colección de quínoa conservada en el Banco Activo de Semillas de INIA Carillanca.

1.3.1 Altura de planta

El crecimiento de la planta de quínoa es erecto, alcanzando alturas variables dependiendo del genotipo, condiciones ambientales y fertilidad de los suelos (Allende, 2017). Tuisima y Fernández (2014), reportan que la quínoa puede alcanzar una altura de planta que va desde los 0,2 m hasta los 3,0 m. En la colección evaluada, la altura de las plantas presentó variaciones desde los 52,0 cm hasta los 183,0 cm (Foto 1), con un promedio de 109.24 cm (Cuadro 4).



Foto 1. Variabilidad de altura de planta en dos genotipos de la colección de quínoa conservada en INIA Carillanca.
Fuente: Arturo Morales M. (INIA Carillanca)

Cuadro 4. Resultados de caracterización de la colección de quínoa evaluada en INIA Carillanca. Temporada 2015/2016

Descriptor	Tipo dato	Unidad	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Valor mínimo	Valor máximo
Altura planta	Cuantitativo	[cm]	109,24	23,73	21,72	52,00	183,00
Días inicio floración		días	74,49	5,14	6,90	68,00	82,00
Días a 50% floración		días	94,98	6,55	6,90	86,70	104,55
Largo panoja		[cm]	32,41	7,20	22,21	16,20	54,80
Diámetro panoja		[cm]	2,17	1,77	81,31	0,84	8,26
Diámetro tallo principal		[cm]	1,37	0,34	24,71	0,60	2,60
N° dientes por hoja		n°	9,10	3,35	36,78	1,00	16,00
Largo peciolo		[cm]	2,83	0,82	28,98	1,00	5,40
Ancho máximo hoja		[cm]	4,48	1,24	27,78	1,70	9,60
Largo máximo hoja		[cm]	5,70	1,18	20,67	2,50	9,60
N° ramas primarias		n°	18,54	3,92	21,12	10,00	28,00
Peso 1000 semillas		[g]	2,63	0,31	11,95	1,80	3,30
Rendimiento por planta		[g]	29,90	9,60	32,10	11,25	74,95
Color tallo principal	Cualitativo	Tabla color	20,81	14,53	69,81	1,00	47,00
Color panoja		Tabla color	27,99	12,78	45,67	1,00	47,00
Color lámina foliar		Tabla color	14,91	7,49	50,20	1,00	32,00
Densidad panoja		Rango	2,15	0,48	22,19	1,00	3,00
Hábito crecimiento		Rango	2,40	0,57	23,70	1,00	4,00
Posición ramas primarias		Rango	1,82	0,38	21,05	1,00	2,00
Color peciolo		Tabla color	1,30	0,61	47,14	1,00	3,00
Forma panoja		Rango	1,83	0,38	20,57	1,00	2,00
Margen hoja		Rango	2,00	0,00	0,00	2,00	2,00

1.3.2 Tallo

Tapia (1979) señala que la planta de quínoa, dependiendo del genotipo, puede presentar un tallo principal o varias ramificaciones. Los genotipos caracterizados en el presente estudio presentaron plantas ramificadas y simples, con variaciones de color desde verde, rojo y amarillo, con presencia o ausencia de estrías de color verde o rojo (Foto 2). El diámetro del tallo principal varió desde los 0,6 cm hasta los 2,6 cm (Cuadro 4).

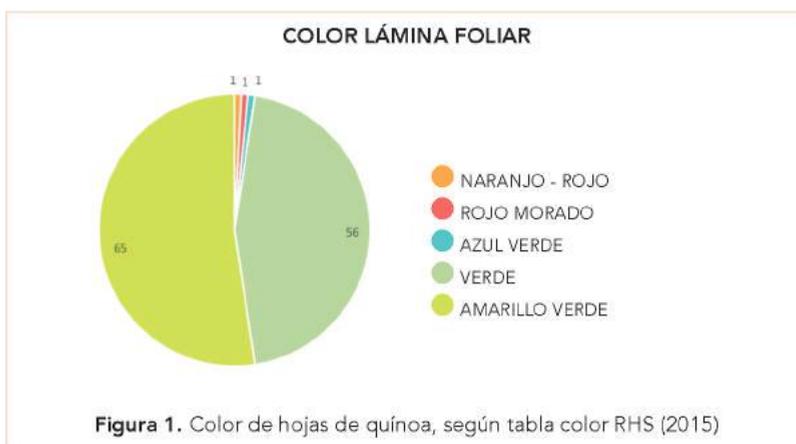
1.3.3 Hoja

La hoja de la quínoa posee peciolo y lámina, los peciolos son largos y acanalados. Dentro de la colección caracterizada, el peciolo alcanzó longitudes desde 1,0 hasta los 5,4 cm. La lámina es polimorfa, las hojas inferiores son de forma romboidal o triangulares y las superiores lanceoladas o triangulares (Tapia, 1979). Mujica (1990), describe que la hoja de quínoa puede alcanzar un largo y ancho de 15 y 12 cm, respectivamente. En base a los resultados obtenidos, el largo de hoja varió desde 2,5 a 9,6 cm, con un promedio de 5,57 cm. El ancho de hoja varió desde 1,7 a 9,6 cm, con un promedio de 4,48 cm. En relación al número de dientes por hoja, Mujica (1990), reporta que las hojas de quínoa pueden tener desde 3 a 20 dientes por hoja según el genotipo. La colección estudiada presentó un promedio de 9,1 dientes por hoja, con mínimo de 1 y un máximo de 20.

En cuanto al color de la lámina foliar se registraron cinco grupos de colores: amarillo-verde, verde, azul-verde, rojo-morado y naranja-rojo. Sin embargo, los colores predominantes de las hojas en la colección fueron los tonos amarillo y verde (Figura 1).



Foto 2. Evaluación de tallos en quínoa.
Fuente: Arturo Morales M. (INIA Carillanca)



1.3.4 Inflorescencia

La inflorescencia de la quínoa es una panoja de longitud variable, cuenta con un eje principal del cual se originan ejes secundarios y terciarios (Risi y Galwey, 1984). Los genotipos caracterizados presentaron una longitud de panoja que va desde los 16,2 hasta los 54,8 cm, con un promedio de 32,4 cm. El ancho de panoja varió desde 0,84 a 8,26 cm, con un promedio de 2,17 cm (Cuadro 4). Según Bioversity (2013), la forma de panoja se clasifica en: glomerulada, intermedia y amarantiforme (Figura 2). En la colección de quínoa caracterizada, solo se identificaron panojas con forma glomerulada e intermedia, no se identificaron genotipos con forma amarantiforme. En relación a la densidad de panoja ésta puede ser laxa, intermedia o compacta. En el caso de la colección trabajada, la gran mayoría de los genotipos presentaron densidad intermedia.

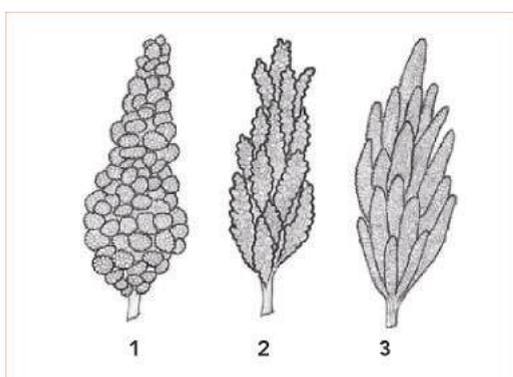


Figura 2. Formas de la panoja de quínoa según Bioversity (2013).

- 1: glomerulada,
- 2: intermedia.
- 3: amarantiforme.

Según Rojas (2007), en relación con el color de la panoja, éstos varían según el estado fenológico. Al inicio del desarrollo de la panícula se expresan principalmente cuatro colores: verde, morado, rojo y una mezcla de colores verde-morado. Sin embargo, una vez alcanzada la madurez de la inflorescencia se exhibe un mayor número de colores que incluyen tonalidades naranja, rosado, rojo café, gris, verde, amarillo y blanco. En relación a este descriptor, en la madurez de panoja en la colección caracterizada se identificaron 45 colores los que fueron distribuidos en nueve grupos (Figura 3).

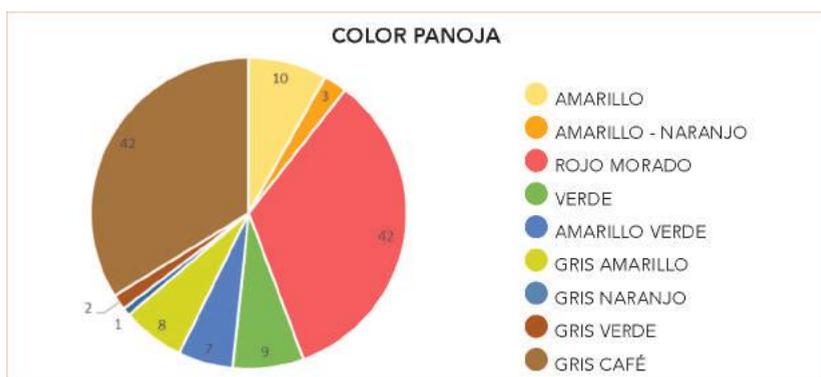


Figura 3. Colores de panoja distribuidos en nueve grupos, según tabla de colores Royal Horticultural Society (2015)

1.3.5 Semilla

La semilla de la quínoa está contenida en un fruto de forma elipsoidal o redonda llamado aquenio. El pericarpio del fruto está adherido a la semilla pudiendo algunas veces separarse fácilmente y es donde está presente la saponina, un factor antinutritivo que le transfiere sabor (Tapia y Fries, 2007). Según este mismo autor, el embrión es periférico y curvado, muy susceptible al daño mecánico, está formado por un eje hipocotileradícula y cotiledones que envuelven al perisperma como un anillo. El perisperma, tejido de reserva, es almidonoso, generalmente de color blanco y constituye la mayor parte de la semilla. Los diferentes colores del perigonio, pericarpio y episperma dan a la inflorescencia de quínoa la gran variabilidad de colores que la caracteriza. En el caso de la colección conservada en INIA Carillanca, los colores de semillas varían desde la tonalidad amarillo hasta café (Foto 3).

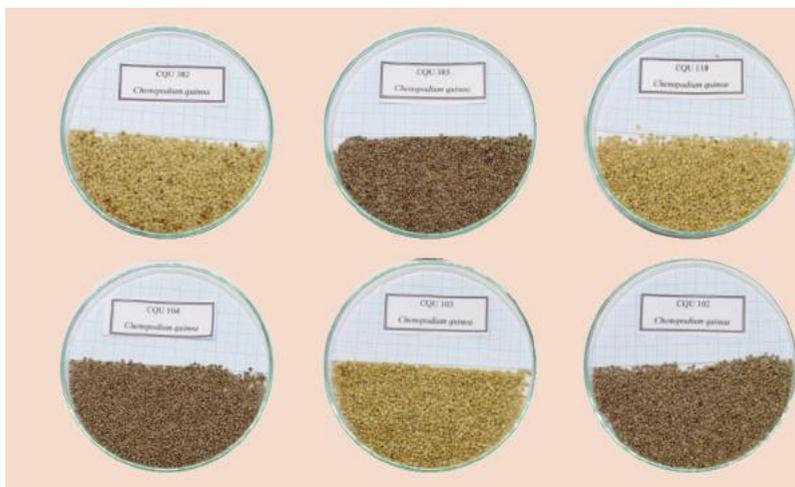


Foto 3. Colores de semillas de quínoa en colección conservada en INIA Carillanca.
Fuente: Arturo Morales M. (INIA Carillanca)

1.3.6 Fenología

Los resultados indican que en la colección estudiada el período vegetativo se extiende entre 68 a 82 días, y el número de días requeridos para que la planta inicie su floración varió desde 86 a 104 días. Algunos de los estados fenológicos se muestran en foto 4.



Foto 4. Algunos estados fenológicos en quínoa: a) 4-hojas verdaderas, b) 6-8 hojas verdaderas, c) inicio desarrollo panoja, d) floración, e) madurez fisiológica.
Fuente: Arturo Morales M. (INIA Carillanca)

1.4 Determinación de la variabilidad genética de la colección de quínoa conservada en el Banco de Germoplasma de INIA Carillanca

Dentro de los parámetros cuantificados para determinar el grado de variabilidad dentro de la colección caracterizada se utilizó el coeficiente de variación (CV). Este es un parámetro que no está relacionado a una unidad de medida, y por lo tanto es más efectivo al momento de comparar diferencias en la expresión de los descriptores. El coeficiente de variación (CV) es el cociente entre desvío estándar y la media, por lo que es una medida adimensional de la dispersión relativa a la media, por lo cual, su valor puede ser un indicador en la habilidad de diferenciar los genotipos caracterizados en base a su morfología.

Los descriptores en lo que se obtiene un bajo CV, son caracteres expresados de manera homogénea dentro de la colección, y su valor para distinguir diferencias entre los genotipos es discreto, mientras que descriptores con alto CV, aportan mayor valor a la discriminación entre las accesiones dentro la colección (Khadivi-Khub y Etemadi-Khah, 2015).

La alta variabilidad dentro de la colección fue confirmada por los altos coeficientes de variación (CV) en la mayoría de los descriptores. Los mayores niveles de variabilidad fueron encontrados en diámetro de panoja (CV= 81.3%); color tallo principal (CV= 69.8%) y color de hojas (CV= 45,7%). Por otro lado, margen de hoja (CV= 0,00%); días a floración (CV= 6,5%); días a 50% de floración (CV=6,9%); peso de 1000 semillas (CV= 12%), exhibieron poca variación (Cuadro 5).

Los análisis de correlación simple muestran la existencia de correlaciones positivas y negativas entre los descriptores utilizados en la caracterización (Khadivi-Khub et al., 2016). Una asociación importante es altura de planta con peso de 1.000 semillas ($r = -0,22$), esto indica que mientras más alta la planta, menor será el calibre de las semillas. Otra asociación importante es de rendimiento por planta con diámetro de panoja ($r = -0,27$), esta asociación negativa revela que mientras más grande sea la panoja de la planta, menor rendimiento de semillas se obtendrá a la cosecha (Cuadro 5).

El análisis de componentes principales fue utilizado para investigar la relación entre las accesiones en base a sus similitudes y diferencias. Estos resultados indican que el primer componente principal (CP 1) contribuyó un 33,3% a explicar la varianza total, y nos permite identificar los genotipos más altos, con fenología más tardía, con hojas más anchas y con mayor número de dientes en hoja. El segundo componente principal (CP 2) contribuyó con un 17% de la varianza total explicada. En este componente se pueden distinguir los genotipos que generan hojas mucho más grandes, con panojas más cortas y que tienen menores rendimientos de semillas por planta (Figura 4).

Cuadro 5. Análisis de correlación simple (Pearson). Datos de caracterización colección de quinoa conservada en el banco de germoplasma de INIA Carillanca

	RP	AP	DIF	D50%F	LP	DP	DTP	NDH	Lpe	AMH	LMH	NRP	P1000
Rendimiento por planta (RP)	1												
Altura planta (AP)	0,3	1											
Días inicio flor (DIF)	0,26	0,5	1										
Días 50% flor (D50%F)	0,26	0,5	1	1									
Largo panoja (LP)	0,3	0,67	0,31	0,31	1								
Diámetro panoja (DP)	-0,27	-0,27	-0,19	-0,19	-0,4	1							
Diámetro tallo principal (DTP)	0,32	0,46	0,2	0,2	0,59	-0,3	1						
Número dientes hoja (NDH)	-0,02	0,26	0,15	0,15	0,13	-0,21	-0,04	1					
Largo peciolo (Lpe)	0,06	0,31	0,25	0,25	0,18	-0,03	0,2	0,36	1				
Ancho máximo hoja (AMH)	0,04	0,29	0,14	0,14	0,29	-0,17	0,21	0,52	0,63	1			
Largo máximo hoja (LMH)	0,02	0,18	0,2	0,2	0,14	-0,1	0,12	0,38	0,79	0,76	1		
Número ramas primarias (NRP)	0,31	0,58	0,4	0,4	0,43	-0,29	0,31	0,22	0,17	0,3	0,14	1	
Peso 1000 granos (P1000)	0,04	-0,22	0,03	0,03	-0,35	-0,01	-0,23	0,04	0,02	-0,07	0,04	0,05	1

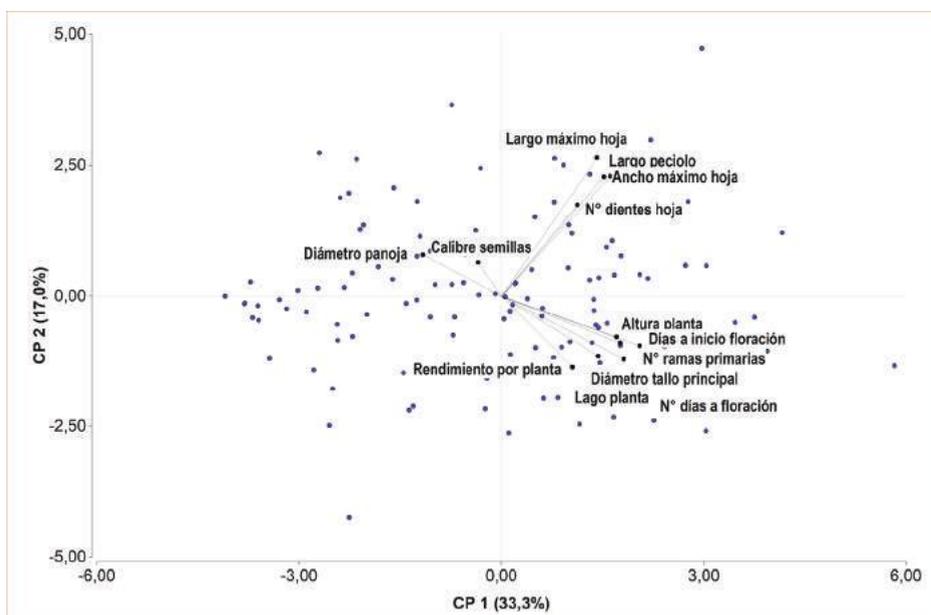


Figura 4. Análisis de componentes principales en genotipos estudiados

1.5 Selección de genotipos superiores

Para la selección de genotipos superiores de quínoa se consideraron los descriptores de rendimiento y calibre de semilla. A partir de los resultados de caracterización y evaluación de la primera temporada se seleccionaron 25 genotipos y en la segunda temporada seis genotipos (Figura 5). Estos últimos fueron evaluados en una tercera temporada bajo manejo agronómico estándar, que consistió en el establecimiento de micro parcelas, de 4,0 x 2,0 m, con cuatro surcos distanciados a 40 cm, y cuatro repeticiones por genotipo (Foto 5). Los genotipos seleccionados fueron evaluados nuevamente en dos localidades, INIA Carillanca y Tranapunte.



Foto 5. Evaluación de seis genotipos seleccionados de quínoa, establecidos en ensayos de campo en INIA Carillanca, Región de La Araucanía, Chile. Fuente: Arturo Morales M. (INIA Carillanca)

Los resultados indican que los mayores rendimientos se registraron en la localidad de Tranapunte, 5.284 kg ha⁻¹ alcanzado por la accesión CQU 390. En la localidad de Carillanca, el máximo rendimiento fue alcanzado por la accesión CQU 389 con 4.208 kg ha⁻¹ (Figura 5).

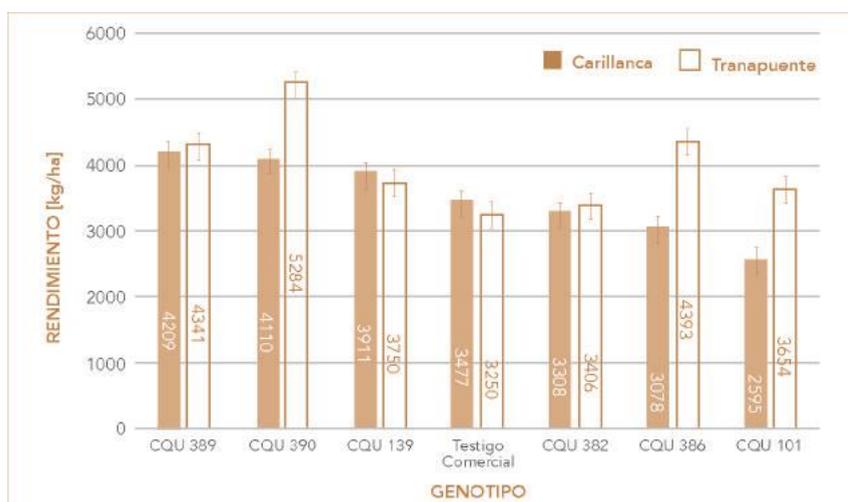


Figura 5. Rendimiento (kg ha⁻¹) de semilla en genotipos seleccionados en dos localidades de la Región de La Araucanía, INIA Carillanca y Tranapunte

1.6 Conclusiones

La colección estudiada se compone de materiales provenientes de las regiones del Biobío, de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Los resultados de caracterización confirman la existencia de una amplia variabilidad genética, dando pie a que eventualmente puedan plantearse futuras investigaciones con un germoplasma que cuenta con antecedentes basados en descriptores agronómicos, morfológicos y fenológicos.

Sobre la base de la caracterización agronómica, la investigación permitió seleccionar seis genotipos superiores en base a rendimiento y calibre de semilla. Los resultados obtenidos permiten asegurar que éstos podrían ser utilizados directamente para la producción comercial de quínoa o bien como base para futuros programas de mejoramiento genético de la especie.

Adicionalmente, el hecho de haber evaluado la colección de quínoa en dos condiciones agroclimáticas contrastantes, en la Región de La Araucanía, da la posibilidad a que más agricultores puedan incorporar este cultivo a su sistema productivo.

Referencias Bibliográficas

- Allende, M. 2015. Caracterización morfológica y molecular de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Para estimar variabilidad genética. Tesis para optar a MSc Universidad Nacional agraria la Molina, Perú.
- Barrett, B, Kidwell, K., y Fox, P. 1998. Comparison of AFLP and pedigree-based genetic diversity assessment methods using wheat cultivars from the Pacific Northwest. *Crop Science*, 38, 1271-1278.
- Batifoulief, F., Verny M., Chanliaud, E., Rémésy C., y Demigné, C. 2006. Variability of B vitamin concentrations in wheat grain, milling fractions and bread products. *European Journal of Agronomy*, 25, 163-169.
- Bazile, D., Bertero H., y C. Nieto. 2014. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Roma. FAO, CIRAD, 724 p.
- Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF, F. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres.
- Casas, A. 2016. Manejo *in situ* y *ex situ* de recursos genéticos. En: Domesticación en el continente americano. p 347-359.
- Christensen, S., Pratt, D., Pratt, C., Nelson, P. Stevens, M., Jellen, E., y Maughan, P. 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: Characterisation and Utilisation*, 5(2), 82-95.
- Del Castillo, C., Winkler, T., Mahy, G., y Bizoux J. 2007. Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Bolivian altiplano as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(4), 897-905.
- Díaz, J., Seguel, I., y Morales, A. 2015. Quinoa: Oportunidad y desafío para la Agricultura Familiar Campesina en Chile. *Tierra Adentro*, 108:62-67
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. 2009. Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, 55. Consultado el 18 de agosto 2018. Disponible en: http://www.fao.org/pgrfa-gpa-archive/hnd/files/Tratado_internacional_sobre_los_recursos_fitogeneticos_para_la_alimentacion_y_la_agricultura.pdf
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. 2014. *Normas para Bancos de Germoplasma de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Comisión de Recursos genéticos para la Alimentación y la Agricultura*. Retrieved from www.fao.org/publications
- Gómez-Pando, L., Álvarez-Castro, R., y Eguiluz-de la Barra, A. 2010. Effect of salt stress on peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: A promising crop. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(5), 391-396.
- Holle, M. 1985. Memoria del curso sobre manejo de recursos genéticos en frutales nativos de la selva baja. Serie de ponencias, resultados y recomendaciones de eventos técnicos N° 349. ISSN-0253-4746. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Iquitos, Perú.
- Khadivi-Khub, A., y Etemadi-Khah, A. 2015. Phenotypic diversity and relationships between morphological traits in selected almond (*Prunus amygdalus*) germplasm. *Agroforestry Systems*, 89(2), 205-216.
- Khadivi-Khub, A., Sarooghi, F., y Abbasi, F. 2016. Phenotypic variation of *Prunus scoparia* germplasm: Implications for breeding. *Scientia Horticulturae*, 207, 193-202.
- Kimatu, J., Muluvi, G., y Bao, L. 2012. Genetic Diversity , Habitat Fragmentation and Epigenetic Variations. *The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity*. <https://doi.org/10.5772/36387>

- Mujica, A. y Canahua A. 1989. Fases Fenológicas del Cultivo de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Curso Taller. Fenología de Cultivos Andinos y Uso de la Información Agrometeorológica. Salcedo, 7-10 Agosto, Puno-Perú. INIAA.
- Mujica, A. 1992. Granos y leguminosas andinas. In: J. Hernández, J. Bermejo y J. Leon (eds). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. pp 129-146.
- Planella, M., Scherson, R., y McRostie, V. 2011. Sitio el Plomo y nuevos registros de cultígenos iniciales en cazadores del Aracaico IV en Alto Maipo, Chile central. *Chungará*, 43, 189- 202.
- Querol, L. 1988. Recursos genéticos, nuestro tesoro olvidado. Aproximación técnica y socioeconómica. Perú: Editorial Industrial gráfica. 218 p.
- Risi J., y Galwey N. 1984. The Chenopodium grains of the Andes: inca crops for modern agriculture. *Adv Appl Biol* 10:145-216.
- Royal Horticultural Society. 2015. Colour Chart Sixth edition. 80 Vicincent Square, London SW1p 2PE, UK.
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca C., Gómez, L., León-Lobos, P., Alercia, A., Diulgheroff, S., Padulosi, S., y Bazile, D. 2013. Estado de la conservación *ex situ* de los recursos genéticos de quinua. En: BAZILE, D. et al. (edit). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Montpellier, Francia: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, 2014, p. 65-94. ISBN: 978-92-5-308558-3.
- Ruas, P., Bonifacio, A., Ruas, C., Fairbanks, D., y Andersen, W. 1999. Genetic relationship among 19 accessions of six species of *Chenopodium* L., by Random Amplified Polymorphic DNA fragments (RAPD). *Euphytica*, 105, 25-32.
- Seguel, I. 2006. Estado de la Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos. ISBN: 956-8018-22-0.
- Seguel, I., Chahín, M., y Chait, E. 2016. Copihue: manejo, caracterización y usos. Boletín INIA N° 341 ISSN:0717-4829.
- Schmidt-Hermann, H., Pennacchiotti, I., Masson, L., y Mella, M. 1990. Tabla de composición química de los alimentos chilenos. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile, Chile. 62 pp.
- Smith O., y Smith J. 1992. Measurements of genetic diversity among maize hybrids: a comparison of isozymic, RFLP, pedigree, and heterosis data. *Maydica*, 37, 53-60
- Tapia, M. 1990. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.
- Tapia, E. 2014. El largo camino de la quinua: ¿quiénes escribieron su historia? Introducción general. En: Bazile, D.; Bertero, D. y Nieto, C., “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 3-10.
- Thompson J., Nelson R., y Vodkin L. 1998. Identification of diverse soybean germplasm using RAPF markers. *Crop Science*, 38, 1348-1355.
- Tuisima C., Fernández L., y Cusimamani, E. 2014. An Andean Ancient Crop, *Chenopodium quinoa* Willd: A Review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 47(4).





Capítulo 2

CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE LA COLECCIÓN DE QUÍNOA DEL SUR DE CHILE

Susana Valenzuela A.
Ivette Seguel B.

2.1 Introducción

La quínoa que se caracteriza principalmente por su valor nutritivo, posee altos contenidos de proteínas, pero su valor, más que en el contenido radica en la calidad de la proteína. Además, contiene grasas, hidratos de carbono, fibra dietaria, minerales y vitaminas. Por otra parte, no contiene gluten, posee un alto contenido de fibra, tiene un índice glicémico bastante bajo, convirtiéndola en el alimento ideal para las personas que sufren de diabetes o para aquellas que quieren adelgazar mientras se alimentan de una forma más saludable.

Otros de los beneficios del consumo de quínoa es que ayuda a controlar los niveles de colesterol en la sangre, por los contenidos de fibra y lípidos insaturados que contiene. Su ingesta ayuda a combatir el estreñimiento y al mismo tiempo es de gran utilidad para la dieta de personas vegetarianas, por la cantidad y calidad de proteínas, además de ser una excelente fuente de hierro y calcio de origen vegetal.

2.2 Proteína

Se estima que entre el 16 y el 20% del peso de una semilla de quínoa lo constituyen proteínas de alto valor biológico portadoras de todos los aminoácidos, incluidos los esenciales, es decir, los que el organismo es incapaz de elaborar y por tanto, requiere ingerirlos con la alimentación (FAO/OMS/UNU,1985). Según Informe Agroalimentario MDRT- Bolivia (2009) citado por FAO (2011), la quínoa comparativamente con otros alimentos en términos de contenido de proteínas se ubica en un rango similar al huevo y queso y muy por encima de la leche (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de proteína de la quínoa y otros alimentos de consumo habitual

Componente (%)	Leche humana	Leche de vaca	Quínoa	Huevos	Queso	Carne de vacuno
Proteínas	1,8	3,5	13	14	18	30

Fuente: Informe Agroalimentario MDRT-BOLIVIA (2009), citado por FAO 2011.

La composición química de la quínoa depende del genotipo, maduración de la planta, localización y manejo del cultivo. Los resultados nutricionales obtenidos a partir de la evaluación de seis genotipos seleccionados por caracteres agronómicos (rendimiento y calibre de semilla), en la Región de La Araucanía indican que en promedio éstos presentarían 15,5 g de proteína en 100 g de semilla. El contenido de proteína más bajo lo obtuvo el genotipo CQU 101 con 13,0 g /100 g de semilla mientras que el genotipo con mayor contenido fue el CQU 390 con 16,3 g/100 g de semilla (Figura 1).

Los contenidos de proteínas obtenidos para los seis genotipos evaluados indican que éstos estarían dentro el rango reportado por FAO/OMS/UNU (1985) quienes señalan que el contenido de proteína de la quínoa varía entre 16 - 20% y FAO (2011), entre 13,81 - 21,9% dependiendo de la variedad. Según Koziol (1992), la quínoa contiene 14% de proteína (peso fresco), siendo ésta de una calidad excepcional, particularmente rica en histidina y lisina (3,2 y 6,1% respectivamente). Según Cardoza y Tapia citados por Cervilla (2012), el contenido proteico de la quínoa puede oscilar en un rango que va desde 7,47 a 22,08%, con un promedio de 13,8%, valores calculados en 77 determinaciones, sin especificar variedades. Por su parte Fuentes y Paredes (2014), reportan para quínoa un 14,12% de contenido proteico.

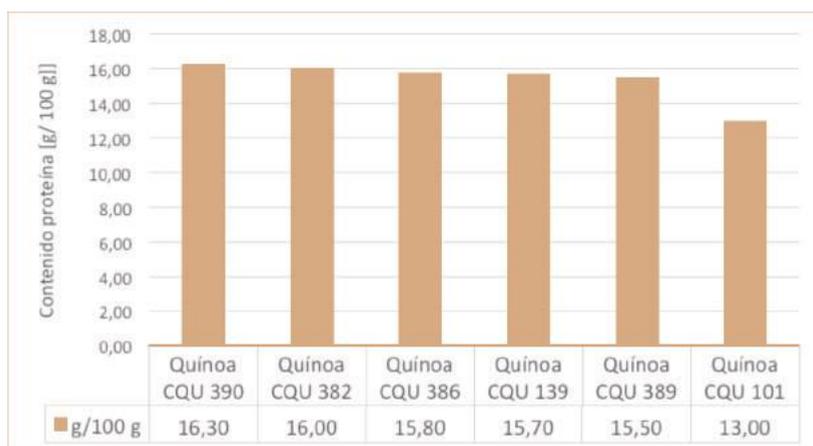


Figura 1. Contenido de proteína, expresado en g/100 g de semilla, evaluados en los seis genotipos de quínoa seleccionados por caracteres agronómicos. Temporada 2016/2017

Fuente: Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera.

2.3 Contenido de aminoácidos esenciales

Como se mencionó anteriormente los aminoácidos esenciales, son aquellos que el organismo es incapaz de elaborar y por tanto requiere ingerirlos con la alimentación (Cuadro 2). Según Repo Carrasco *et al.*, (2003) al comparar los contenidos de aminoácidos esenciales de 100 gramos de trigo versus 100 gramos de quínoa, ésta contiene casi el quintuple de lisina, más del doble de isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina y valina, y cantidades muy superiores de leucina. Además, supera al trigo en por el triple en las cantidades de histidina, arginina, alanina y glicina. Sumado a ello, la quínoa contiene aminoácidos no presentes en el trigo como prolina, ácido aspártico, ácido glutámico, cisteína, serina y tirosina.

Cuadro 2. Aminoácidos esenciales contenidos en la quínoa y los efectos benéficos de su consumo para la salud humana

Aminoácidos	Efectos
Lisina	Mejora la función inmunitaria al colaborar en la formación de anticuerpos, favorece la función gástrica, colabora en la reparación celular, participa en el metabolismo de los ácidos grasos, ayuda al transporte y absorción del calcio, retarda o impide -junto con la vitamina C- las metástasis cancerosas
Isoleucina	Participa, en la producción de energía muscular
Leucina	Mejora los trastornos neuromusculares
Valina	Previenen el daño hepático, permiten mantener en equilibrio los niveles de azúcar en sangre
Metionina	Utilizada por el hígado para producir s-adenosi-metionina, una sustancia especialmente eficaz para: tratar enfermedades hepáticas, depresión, osteoartritis, trastornos cerebrales, fibromialgia, fatiga crónica, decodificador de metales pesados
Fenilalanina	Estimulante cerebral y elemento principal de los neurotransmisores que promueven el estado de alerta y el alivio del dolor y de la depresión, entre otras funciones)
Treonina	Interviene en las labores de desintoxicación del hígado, participa en la formación de colágeno y elastina, facilita la absorción de nutrientes
Triptófano	Precursor inmediato de la neurotransmisora serotonina por lo que se utiliza con éxito en casos de depresión, estrés, ansiedad, insomnio y conducta compulsiva.

Fuente: FAO, 2011

En el cuadro 3 se presentan los resultados del perfil aminoacídico de los seis genotipos de quínoa seleccionados en base a caracteres agronómicos (rendimiento y calibre del grano).

A partir de la información del cuadro 3 es posible observar que, en el caso de la lisina y dependiendo del genotipo, los valores fluctúan entre 3,82 (CQU 101) y 7,26 % (genotipo CQU 386). En promedio los seis genotipos alcanzaron un valor de 5,6% de lisina, valor igual a lo reportado por Repo Carrasco et al., (2003). Hay que destacar también que, en los genotipos evaluados, este aminoácido en particular, coincidentemente con lo reportado por otros autores, estarían por encima de los contenidos de lisina de trigo, cuyos valores reportados por Koziol (1992) y Chaval y Kadam (1989) son 3,2 y 2,6% respectivamente.

Cuadro 3. Perfil aminoacídico determinado para seis genotipos de quínoa seleccionado por caracteres agronómicos. Temporada 2016/2017

Perfil aminoácidos (*)	Genotipos quínoa					
	CQU 390	CQU 139	CQU 389	CQU 382	CQU 386	CQU 101
Ácido aspártico	8,58	6,06	9,15	6,83	6,92	8,51
Acido Glutámico	12,87	12,82	13,7	13	12,03	11,78
Hidroxiprolina	0,85	0,9	0,88	0,29	0,28	1,83
Serina	2,64	2,69	2,81	3,81	3,25	15,56
Glicina	3,88	4,21	3,9	4,82	4,28	12,14
Histidina	1,74	1,58	2,08	1,84	1,78	6,72
Arginina	7,16	7,55	7,65	8,01	8	5,61
Taurina	0,06	0,06	0,06	0,14	0,07	-
Treonina	2,1	1,83	1,85	2,6	2,46	-
Alanina	3,76	3,52	3,41	4,3	3,7	2,5
Prolina	3,09	3,24	6,01	3,38	3,25	2,93
Tirosina	1,94	2,22	2,08	1,45	1,63	-
Valina	3,8	3,75	3,88	3,8	3,49	-
Metionina	1,49	1,36	1,25	0,88	1,06	0,75
Isoleusina	2,5	2,57	2,44	3,24	2,95	2,91
Leucina	5,28	4,99	5,42	5,53	5,09	5,12
Fenilalanina	3,02	2,94	3,17	3,53	2,96	2,67
Lisina	5,25	4,3	6,48	6,56	7,26	3,82
Cisteína total	1,18	1,17	1,43	-	-	-
Triptófano	0,18	0,27	0,17	-	-	0,93

(*) g aminoácidos/100 g de proteína.

Fuente: Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera.

2.4 Saponinas

Las saponinas son compuestos del tipo esteroide o triterpenoide que se encuentran en el pericarpio del grano de la quínoa, considerado generalmente como un factor antinutricional (Brady *et al.*, 2007). Según Gómez *et al.*, (2010) el contenido de saponinas permite distinguir las variedades de quínoa como dulces (<0,11%) o amargas (>0,11%).

A diferencia de los autores antes mencionados, Álvarez-Jubete *et al.*, (2010) y Kuljanabagavad *et al.*, (2009), señalan que las saponinas podrían tener efectos benéficos para la salud como anti carcinogénico y para la disminución del colesterol. Sin embargo, desde el punto de vista del consumo y la industrialización, los contenidos de saponina del

grano de quínoa siguen siendo uno de los principales problemas ya que ésta le confiere un sabor amargo característico (Gandarillas et al., 2014). De allí la importancia que le han dado otros países por incorporar en los programas de mejoramiento genético como objetivo la selección de materiales con menor porcentaje de saponinas.

En foto 1 se muestra el equipo escarificador de quínoa utilizado en la presente investigación para realizar los análisis de laboratorio comprometidos y apoyar a los socios del proyecto y beneficiarios para realizar el desaponificado de la quínoa proveniente de sus cosechas. Actualmente éste se encuentra disponible en el Instituto de Agroindustria de la Universidad de La Frontera.



Foto 1. Máquina escarificadora, capacidad de procesamiento de 100 kg h⁻¹. Instituto de Agroindustria Universidad de La Frontera. Fuente: Susana Valenzuela A.

En el cuadro 4 se presentan los contenidos de saponinas de los seis genotipos evaluados, más la variedad comercial Regalona Baer que fue utilizada como testigo. La evaluación se realizó utilizando el método afrosimétrico propuesto por Koziol (1991), conocido comúnmente como “índice de espuma”.

Cuadro 4. Contenido de saponina evaluada en granos de seis genotipos de quínoa y la variedad comercial, Regalona Baer

Genotipos evaluados	Contenido Saponina (%) (*)
Testigo comercial	0,32
CQU 101	0,24
CQU 382	0,39
CQU 386	0,51
CQU 389	0,34
CQU 390	0,49
CQU 139	0,47

(*) En base a peso fresco
Fuente: Instituto de Agroindustria.Universidad de La Frontera

En relación a los contenidos de saponina en los granos de los seis genotipos seleccionados éstos fluctuaron entre 0,24 y 0,51%, siendo el genotipo con menor contenido de saponinas CQU 101 con 0,24 %, valor más bajo que el obtenido para la variedad comercial Regalona Baer (0,32 %). El mayor contenido de saponina lo obtuvo el genotipo CQU 386 con 0,51 % (Cuadro 4). Según la FAO/OMS (2017), el contenido de saponina de la quínoa no debería superar el 0,12%, en base al peso en fresco. De acuerdo con esta información los resultados obtenidos indican que los genotipos evaluados requieren necesariamente ser descascarados (pelados) para eliminar los contenidos de saponina y ajustarse a las exigencias de la Comisión del Codex Alimentarius (2017) para quínoa, que señala que el límite de la saponina debe ser $\leq 0,12\%$.

2.5 Información nutricional de la quínoa

En el marco de la investigación también se determinaron los componentes nutricionales de la quínoa para los seis genotipos seleccionados (Cuadro 5).

2.5.1 Azúcares totales

El contenido de azúcares totales de los genotipos de quínoa evaluados varió de <0,005 a 2,9 g/100g de producto (Cuadro 5). Comparativamente hay dos genotipos, CQU 383 y CQU 386, que presentan valores inferiores a los reportados para quínoa por González, *et al.* (1992), 0,45 - 0,7 g/100g de producto. De los resultados se desprende que los contenidos de azúcares dependen del genotipo pero en general la quínoa posee bajos niveles de azúcar, por lo tanto tiene un índice glicémico bastante bajo, lo que la convierte en el alimento ideal para las personas que sufren de diabetes.

Cuadro 5. Información nutricional de seis genotipos de quínoa, expresado en unidades por 100/ g de producto

Proximal	Unidad	CQU 390	CQU 139	CQU 389	CQU 383	CQU 386	CQU 101	Promedio genotipos	Trigo*
Energía	Kcal	365,20	360,40	365,40	329,00	329,00	361,00	351,70	322,00
Grasa Total	g	6,90	6,80	7,40	5,60	6,30	6,30	6,60	2,00
Proteínas	g	16,30	15,70	15,50	16,00	15,80	13,90	15,50	9,30
Hidratos de carbono disponibles	g	62,50	62,40	62,50	53,60	52,20	62,00	59,20	72,00
Azúcares totales	g	2,90	2,60	2,80	<0,005	0,600	2,20	1,90	s/i
Fibra dietaria	g	11,80	10,80	8,60	10,20	11,20	11,80	10,70	10,70
Fibra dietaria insoluble	g	10,70	9,57	7,57	8,80	9,80	10,50	9,50	9,50
Fibra dietaria soluble	g	1,10	1,20	1,00	1,30	1,40	1,20	1,20	1,20
Sodio	mg	<4	4,80	<4,0	4,40	2,70	<4	4,00	5,80
Calcio	mg	79,00	89,00	87,00	64,90	82,60	78,80	80,30	43,00
Hierro	mg	2,00	2,70	2,70	4,70	7,00	2,90	3,70	4,50
Magnesio	mg	130,00	120,10	135,70	76,10	72,00	133,50	111,30	s/i
Potasio	mg	737,20	727,00	760,00	500,40	452,90	743,40	653,50	326,00
Selenio	mg	<0,005	<0,005	<0,005	s/i	s/i	s/i	0,05	s/i
Humedad	%	13,70	15,00	13,30	12,10	12,10	14,00	13,40	11,60

* Schimidt-Hermann *et al.*, (1990)

Fuente: Instituto de Agroindustria Universidad de La Frontera

2.5.2 Hidratos de carbono disponible

El rango de hidratos de carbono en los genotipos evaluados fluctuó entre 52,2 y 62,5 g/100 g de muestra. El promedio de estas evaluaciones alcanzó 59,2 g/100 g (Cuadro 5). Los valores obtenidos en esta investigación son inferiores a los hidratos de carbono reportado por Schmidt- Hermann *et al.*, (1990) para trigo (72 g/100 g) e inferiores a los reportados por Vásquez (2016), para quínoa, trigo, maíz blanco de la sierra y cebada cruda e inferiores a lo reportado para quínoa por Fuentes y Paredes (2014).

2.5.3 Fibra dietaria

La fibra dietaria son los hidratos de carbono complejos y la lignina. Aunque no existen todavía datos concluyentes sobre la recomendación de los distintos tipos de fibra, el Reglamento Sanitario de los Alimentos indica un valor de referencia diario mínimo de 25 g día⁻¹ de fibra de diferentes fuentes. En consecuencia, si una persona consume 100 g/día⁻¹ de quínoa significaría el 50% del aporte recomendado según Escudero y González (2006).

En relación a este parámetro, los valores promedios de los seis genotipos para fibra dietaria (10,7), fibra dietaria insoluble (9,5 g) y fibra dietaria soluble (1,2 g) son coincidentes con los valores reportados para trigo, 10,7, 9,5 y 1,2 g/100 g de producto respectivamente (Schmidt- Hermann *et. al* 1990), y similar a lo reportado para quínoa por Fuentes y Paredes (2014). Al respecto destacar que el genotipo CQU 390 presenta un 12,6% más de fibra insoluble en relación a lo reportado para trigo (Cuadro 5).

2.5.4 Minerales

En cuanto a minerales se puede apreciar (Cuadro 5) que el sodio se encuentra en muy bajas proporciones, el valor más alto fue de 4,89 mg/100 g de producto y lo presentó el genotipo CQU 139 y el valor más bajo el genotipo CQU 396 con 2,7 mg/100 g de producto. Los seis genotipos evaluados presentan contenidos de sodio inferiores a lo reportado por Fuentes y Paredes (2014), donde señalan para quínoa 5 mg de Na. Los resultados permiten afirmar que los genotipos evaluados pueden ser considerados en la categoría "libre de sodio", definidos como aquellos cuyos contenidos son menores a 5 mg/100 g de producto (Reglamento Sanitario de los Alimentos 1996).

En relación a los contenidos de calcio, este osciló entre 64,9 (genotipo CQU 383) y 89,03 mg/100 g de producto (genotipo CQU 139), el valor promedio fue de 80,3 mg/100 g de producto (Cuadro 5). Los resultados obtenidos son superiores a lo reportado para quínoa por Fuentes y Paredes (2014) quienes para este elemento informan 47 mg/100 g. Por otra parte Schmidt-Hermann *et al.*, (1990) reportan para trigo 43 mg/100 g y Vásquez (2016), señalan para quínoa, maíz blanco de la sierra y cebada cruda 54,8, 68 y 37 mg/100 g de producto, respectivamente (Cuadro 5).

En cuanto al hierro, el genotipo CQU 386 es el que presenta el mayor valor (7,03 mg/100 g) mientras que el valor más bajo lo presentó el genotipo CQU 390 (2,059 mg/100 g). El promedio alcanzado por los seis genotipos evaluados fue de 3,7 mg/100 g de producto, valor inferior a lo reportado por Fuentes y Paredes (2014), donde señalan para quínoa un contenido de hierro de 4,57 mg/100 g. Por su parte Schmidt- Hermann *et al.*, (1990) indican que el trigo contiene 4,5 mg/100 g. Sin embargo, el contenido de hierro en el genotipo CQU 386 estaría aportando el 50,2% de la dosis diaria de referencia (DDR) (Reglamento Sanitario de Alimentos, 1996), para adultos, adolescentes y niños mayores de 4 años de edad (14 mg/día de hierro). Si se considera el valor promedio del contenido de hierro de los seis genotipos evaluados, éste también es inferior a los valores reportados por Vázquez (2016) para trigo y cebada cruda, pero superior al maíz blanco de la sierra e igual a los valores indicados para la quínoa.

Por su parte los contenidos de magnesio de cuatro de los seis genotipos estudiados, CQU 389, CQU 101, CQU 390 y CQU 139 alcanzaron valores de 135,7; 133,5; 130 y 120,1 mg/100 g, estos valores aportarían el 40% de DDR (Reglamento Sanitario de Alimentos, 1996) para adultos, adolescentes y niños mayores de 4 años de edad cuya recomendación es de 300 mg/día de magnesio. Estos valores son menores a lo reportado para este elemento por Fuentes y Paredes (2014) (197 mg/100 g).

Finalmente, en el caso del potasio, el valor más alto (760,02 mg/100 g) lo alcanzó el genotipo CQU 398 y el valor más bajo (452,98 mg/100 g) el genotipo CQU 386. En promedio los genotipos evaluados alcanzaron 653,5 mg/100 g de producto, valor superior a lo reportado para quínoa por Fuentes y Paredes (2014), donde señalan para quínoa 563 mg/100 g, y muy por encima de lo reportado para trigo por Schmidt- Hermann *et al.*, (1990), quien informa para este cereal, 326 mg/100 g de producto (Cuadro 5). Los valores de referencia diarios para potasio según el Reglamento Sanitario de los Alimentos (1996) es de 3.500 mg.

2.6 Conclusiones

Al igual que la caracterización agronómica, los genotipos de quínoa seleccionados por caracteres agronómicos difieren entre ellos en sus propiedades nutricionales, proteínas, componentes aminoacídicos, contenido de saponina, minerales y vitaminas.

Los contenidos de proteínas de los seis genotipos de quínoa seleccionados se encuentran sobre el valor promedio reportado por la literatura. En relación a los contenidos aminoacídicos, estos no difieren de lo reportado en otros estudios, pero si destacar que al igual que otros reportes son muy superiores a los contenidos aminoacídicos del trigo.

En relación a los contenidos de saponina, los seis genotipos seleccionados corresponderían a quínoas consideradas como amargas, que son aquellas con contenidos mayores a 0,11%. Sin embargo, cabe destacar que un genotipo presentó contenidos de saponina inferiores a la variedad comercial Regalona Baer. Lo anterior significa que las quínoas del sur de Chile, independiente del material genético requieren de un proceso para ser desaponificadas.

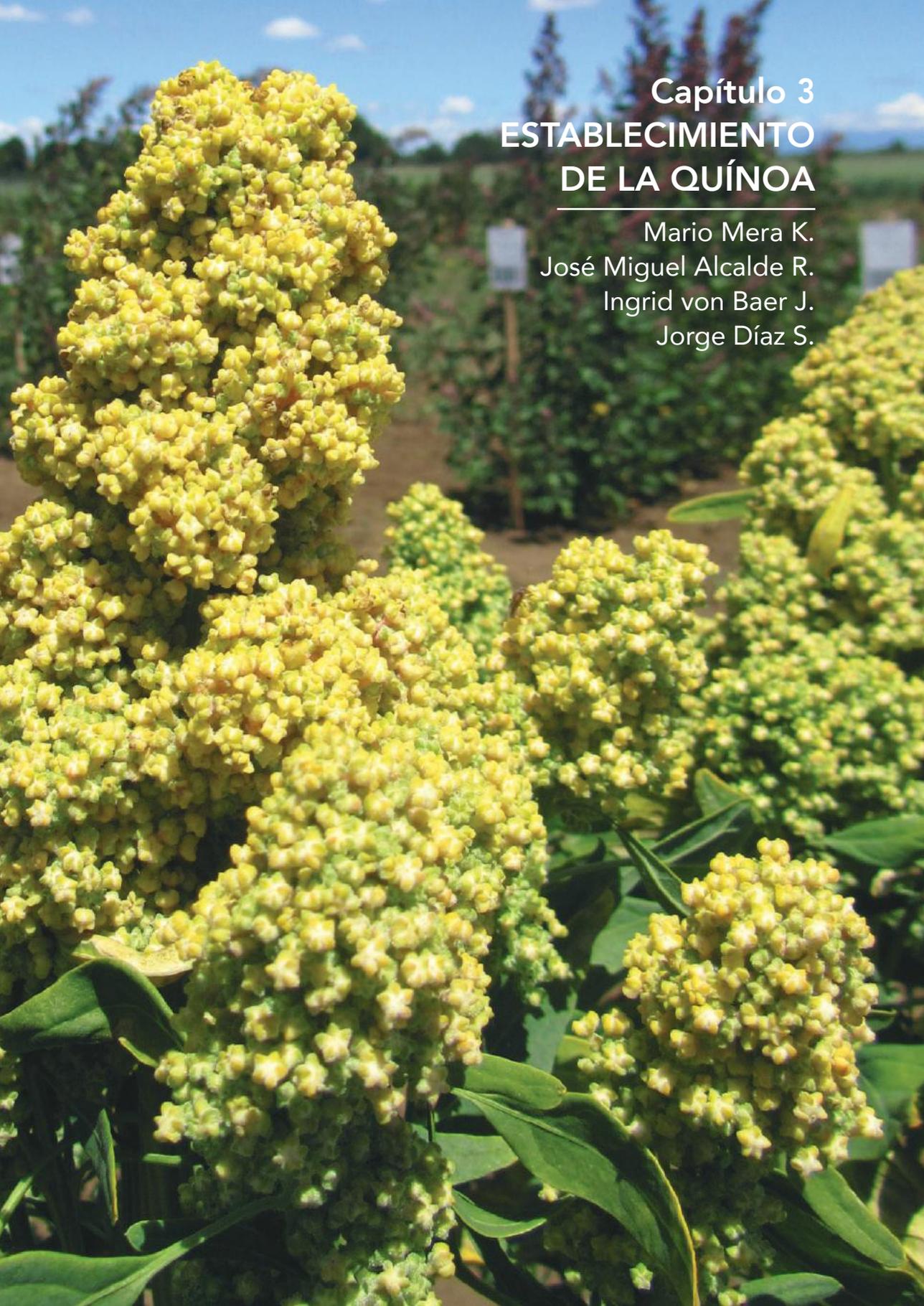
Por otra parte, el análisis de los minerales permitió concluir que los seis genotipos evaluados están en la categoría libres de Na, considerados aquellas menores a 5,0 mg/100 g. En el caso del Ca los materiales en estudio (promedio 80,3 mg/100 g) superan a otros reportes que señalan que la quínoa tendría entre 47mg/100 g a 68 mg/100 g, destacando un genotipo con 139 mg/100 g. En el caso de los contenidos de Mg de los seis genotipos evaluados, estarían indicando que el consumo de cualquiera de estos significaría un aporte del 40% de la dosis recomendada diaria (DRD) para este elemento. En el caso del K el promedio de los seis genotipos estudiados fue mayor a lo reportado en otros estudios para quínoa.

Al respecto, sobre la base de los resultados de investigación, señalar que los genotipos de quínoa analizados mostraron una excelente calidad nutricional, la que no difiere de lo reportado por la literatura. Adicionalmente, es importante destacar en favor a los genotipos de la zona sur los altos contenidos de Ca y K, elementos muy importantes en la dieta humana, especialmente, niños y adultos mayores.

Referencias Bibliográficas

- Brady, K., Ho, C., Rosen, R., Sang, S. Karwe, M. 2007. Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chemistry*. 100. 1209–1216.
- Cervilla, N., Mufari J., Calandri, E y Guzman C. 2012. Composición química de harinas de quinoa de origen argentino. Pérdidas minerales durante el lavado. *Bioquímica Nutricional*. Volumen N°13 N°4.
- Chaval, J. y Kadam S. 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting. Department of Food Science and Technology and Department of Biochemistry, Rahury, India. 28. 401-43.
- Comisión del Codex Alimentarius. 2017. Solicitud de observaciones en el trámite 3 sobre el anteproyecto de norma para quinoa. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud.
- Escudero, E, González. P. 2006. Artículo Fibra Dietética, Unidad de Dietética y Nutrición. Hospital La Fuenfría. Madrid.
- FAO, OMS y UNU. 1985. Necesidades de energía y proteína. Organización Mundial de la Salud. ISSN 92 4 320724.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. 2011. La quinoa: un cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria. Consultado el 18 de agosto 2018. Disponible en:<http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.p>
- Fuentes, F. y Paredes, G. 2014. Perspectivas Nutracéuticas de la Quinoa: propiedades biológicas y aplicaciones funcionales. Capítulo Número 3.5. IN: 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. 341-357.
- Gandarillas, A.; Rojas, W.; Bonifacio, A. y Ojeda, N. 2014. La Quinoa en Bolivia: perspectiva de la Fundación PROINPA. En: Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Bazile, D. (Ed.), Santiago, Chile, 724 p.
- Gómez-Pando, L. R., Álvarez-Castro, R., & Eguiluz-de la Barra, A. 2010. Effect of salt stress on peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* willd.: A promising crop. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(5), 391–396. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00429>
- González, J.A Gallardo, M., Hilal, M. y Prado, F.E. 1992. Variaciones en los niveles de carbohidratos, proteínas solubles y prolina en plántulas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sometidas a distintos regímenes de riego. http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.11.h
- Koziol M J. 1991. Afrosimetric stimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Science Food Agriculture*.54: 211-219.
- Koziol M J. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition Analysis*, 5:35–68.

- Kuljanabagavad, T. Wink, M. 2009. Biological activities and chemistry of saponins from *Chenopodium quinoa* Willd". *Phytochemistry Review* 8, pp 473-49.
- Reglamento Sanitario de los Alimentos. 1996. Decreto N° 977/96. Ministerio de Salud. República de Chile.
- Repo-Carrasco, R.; Espinoza, C. and Jacobsen, S. 2003. Nutritional value and uses of andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Research International*. 19. 179-189.
- Schmidt-Hermann, H., Pennacchiotti I., Masson L y Mella M. 1990. Tabla de composición química de los alimentos chilenos. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. 62 p.
- Vázquez, K. 2016. Estudio de las características de la producción de quinua orgánica blanca variedad Santa Ana Junín, para la propuesta de un plan de negocios de exportación al mercado francés - Paris, 2016. Tesis para optar el título profesional de: Licenciado en Administración y Negocios Internacionales. Universidad Privada del Norte. Facultad de Negocios, Carrera de Administración y Negocios Internacionales. Cajamarca – Perú 2015. 170p.



Capítulo 3
ESTABLECIMIENTO
DE LA QUÍNOA

Mario Mera K.
José Miguel Alcalde R.
Ingrid von Baer J.
Jorge Díaz S.

3.1. Introducción

Las investigaciones para definir dosis de semilla y sistemas de siembra en Chile para la quínoa son escasas y se trata de una información necesaria, considerando que es una de las primeras preguntas del agricultor interesado en este cultivo. La distribución de semilla al voleo es una práctica común entre pequeños agricultores, pero es poco recomendable debido al pequeño tamaño de ésta. En sudamérica se usan variados sistemas de siembra. El espaciamiento entre hileras varía entre 40 y 80 cm. Sin embargo, en Inglaterra se encontró que los más altos rendimientos de la variedad Regalona Baer, creada en Chile, se obtenían con un espaciamiento de 20 cm, con 20 kg ha⁻¹ de semilla (Risi y Galwey, 1991). En Colorado, Estados Unidos, se encontró beneficioso espaciar los surcos al menos a 36 cm (Johnson y Croissant, 1985), pero en Dinamarca, Jacobsen et al. (1994) no encontraron diferencias significativas en rendimiento al comparar espaciamientos entre surcos de 12,5; 25 y 50 cm. En el estudio danés se estimó que la densidad de plantas óptima era 327 plantas m⁻², pero con una desviación estándar de 220 plantas m⁻², lo cual llevó a concluir que los rendimientos de grano de la quínoa pueden permanecer estables a través de un amplio rango de densidades de población. Estudios en Holanda y Dinamarca también encontraron que los rendimientos de la quínoa pueden mantenerse estables con densidades de entre 30 y 250 plantas m⁻² (Darwinkel y Stolen, 1997). Sobre la base de rendimientos y competencia con malezas, en el norte de Europa se recomienda una dosis de siembra de 6 kg ha⁻¹ para alcanzar poblaciones de 100 a 150 plantas m⁻² (Peterson y Murphy, 2015). Para las variedades ecuatorianas INIAP Tunkahuan e INIAP Pata de Venado, Peralta et al. (2009) recomiendan 12 a 16 kg ha⁻¹ de semilla con espaciamiento entre surcos de 60 cm para la primera y 40 cm para la segunda variedad, en el caso de siembras manuales "mateadas" (en surcos dejando cierta distancia entre dos grupos de semillas), y 12 kg ha⁻¹ de semilla si la siembra es con máquina a chorro continuo. Gómez-Pando y Aguilar-Castellanos (2016) recomiendan 10-12 kg ha⁻¹ de semilla para siembras manuales y 12 a 15 kg ha⁻¹ al usar sembradora de cereales. Con sembradora de hortalizas, la dosis de semilla puede reducirse a 4-5 kg ha⁻¹. En el caso de suelos pedregosos o con pendientes pronunciadas sugieren aumentar a 15-20 kg ha⁻¹. El espaciamiento puede variar entre 40 y 80 cm dependiendo del sistema de siembra.

En relación a lo anteriormente expuesto, Peterson y Murphy (2015) enfatizan lo determinante que son la condición ambiental de la localidad, la presión de malezas y las características de la variedad en los resultados de estudios de espaciamiento, dosis de siembra y densidad de plantas. En consecuencia, es necesario contar con resultados experimentales para condiciones particulares, a fin de entregar recomendaciones más precisas a los agricultores.

Para tener información sobre dosis de semilla a ocupar en siembras de quínoa en La Araucanía, INIA condujo ensayos en las localidades de INIA Carillanca y Tranapunte,

durante tres temporadas (2015-16; 2016-17; 2017-18). Se probaron seis dosis de siembra (5, 10, 15, 20, 25, 30 kg/ha) con dos espaciamientos entre surcos (20 y 40 cm), empleando la variedad Regalona Baer, única disponible actualmente en el mercado chileno. Se trata de una variedad de "nivel del mar" (*lowland, coastal o sea-level*), de baja altura de planta, hábito de crecimiento compacto y relativa precocidad (von Baer et al., 2009). Cada semilla de la variedad Regalona Baer pesa en promedio alrededor de 3 miligramos. Esto significa que un kilogramo contiene más de 333 mil semillas. En ambas localidades se estableció en septiembre bajo condición de secano. Se trazaron manualmente surcos poco profundos para sembrar superficialmente, ya que las tasas de germinación se reducen drásticamente cuando la semilla queda a una profundidad de más de 2 cm (Peterson y Murphy, 2015).

3.2 Rendimiento de grano

El espaciamiento a 40 cm permitió obtener rendimientos levemente superiores que el espaciamiento a 20 cm, en las dos localidades de ensayo (Cuadro 1), siendo la diferencia estadísticamente significativa. Como promedio de los tres años, las dos localidades y las seis dosis de siembra, el rendimiento con espaciamiento entre hileras a 40 cm fue 3.770 kg ha⁻¹ y con 20 cm fue 3.495 kg ha⁻¹. Como promedio de los tres años de evaluación, el rendimiento de grano alcanzado en Tranapunte fue 4.006 kg ha⁻¹ y el logrado en INIA Carillanca, 3.258 kg ha⁻¹. Se observó un mayor vigor y sanidad de las plantas con el espaciamiento a 40 cm, coincidiendo con observaciones de Jacobsen et al. (1994). La presencia de mildiu, causado por el hongo *Peronospora variabilis*, se evidenció en menor grado en las parcelas con 40 cm de espaciamiento. Desde el punto de vista del manejo agronómico, el espaciamiento de 40 cm entre hileras permite ejercer un control de malezas mecánico o manual, en tanto que el espaciamiento de 20 cm depende del control químico.

Cuadro 1. Rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de quínoa Regalona Baer con dos espaciamientos entre surcos, en dos localidades durante tres temporadas. Los datos presentados son promedios de seis dosis de siembra

Temporada	Carillanca		Tranapunte	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
2015-16	3.079	3.218	3.712	4.179
2016-17	2.939	3.365	5.196	5.289
2017-18	3.519	3.431	2.523	3.139
Media de 3 años	3.179	3.338	3.810	4.202

La dosis de semilla, sin embargo, no tuvo un efecto significativo en ninguna localidad (Cuadro 2). Tampoco fue significativa la interacción entre espaciamiento y dosis de semilla. Al incrementar la dosis se redujo la cantidad de ramificaciones superiores del tallo y consecuentemente el tamaño de la panoja. También se observó una leve aceleración de la madurez al incrementar la dosis de semilla. Estos dos efectos también han sido reportados por Risi y Galwey (1991). Como se observa en el cuadro 2, la población de plantas obtenida fue notablemente inferior a lo esperado y la pérdida de plantas aumenta al incrementar la dosis de siembra. El caso extremo es la siembra a razón de 30 kg ha⁻¹, donde se depositaron alrededor de 1.000 semillas por metro cuadrado, pero apenas se superaron las 100 plantas m⁻².

Cuadro 2. Población de plantas (plantas m⁻²) y rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de quínoa Regalona Baer, obtenidas con seis dosis de siembra, en dos localidades. Los datos presentados son promedios de tres temporadas y dos espaciamientos entre surcos

Dosis semilla (kg ha ⁻¹)	Densidad (semillas m ⁻²)	Carillanca		Tranapunte	
		Población	Rendimiento	Población	Rendimiento
5	167	40	3.320	42	4.181
10	333	68	3.235	58	4.131
15	500	84	3.254	74	4.150
20	667	91	3.331	92	3.814
25	833	103	3.199	97	3.915
30	1.000	104	3.211	109	3.847

La planta de la variedad Regalona Baer no produce ramificaciones basales, independientemente de la densidad poblacional. La biomasa del cultivo no fue medida, pero no se apreciaron cambios a partir de una población de plantas de alrededor de 60 plantas m⁻². Lesjak y Calderini (2013) encontraron que rendimiento de grano presentó una relación lineal y positiva con la biomasa por unidad de superficie (R=0,99; p<0,05) y con el número de granos (R=0,96; p<0,05).



Foto 1. Foto aérea del ensayo de espaciamiento y dosis de quínoa, mostrando 3 bloques correspondientes a 3 repeticiones. En el primer bloque, las primeras seis parcelas del lado izquierdo son las dosis de siembra ordenadas de menor a mayor, con 20 cm de espaciamiento; en las seis del lado derecho, las mismas dosis crecientes, con 40 cm espaciamiento. Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca)

3.3 Peso medio del grano

No fue afectado por la dosis de siembra, sin embargo, con espaciamiento de 40 cm fue levemente mayor, con diferencia estadísticamente significativa, que con 20 cm (3,15 versus 3,09 mg). El factor de mayor efecto fue el ambiente, variando entre temporadas y localidades según la disponibilidad de agua en el suelo.

3.4 Altura de planta

Al igual que para peso de grano, el ambiente (localidad, temporada) fue el factor de mayor efecto. Al aumentar la dosis de siembra la altura disminuyó de 94 a 88 cm, y con espaciamiento a 40 cm fue mayor (93 cm) que con espaciamiento a 20 cm (88 cm). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas, pero no estuvieron asociadas a tendencia del cultivo.

Puede concluirse que la quínoa es una planta con gran plasticidad capaz de compensar eficientemente las variaciones de densidad poblacional. Con población escasa cada planta produce una panoja más grande y con mayor cantidad de granos. Con población abundante cada planta produce panojas más pequeñas. Como resultado, al variar la población el rendimiento se mantiene relativamente estable.

Paralelamente a los ensayos ya descritos, se planificó la evaluación de cuatro fechas de siembra: primera y tercera semana de septiembre, y primera y tercera semana de octubre. Los resultados (Cuadro 3) muestran que los rendimientos tienden a disminuir en la medida que la fecha de siembra se atrasa. Naturalmente, la ocurrencia de lluvias primaverales puede anular la tendencia, pero sin duda el atraso en la fecha de siembra implica un riesgo para el agricultor que siembra quínoa en condición de secano en la Región de La Araucanía.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) de quínoa Regalona-Baer, obtenidas con cuatro fechas de siembra, en dos localidades. Aproximadamente: (1) primera semana de septiembre, (2) tercera semana de septiembre, (3) primera semana de octubre, (4) tercera semana de octubre

Fecha de siembra	Carillanca			Tranapunte		
	2015-16	2016-17	2017-18	2015-16	2016-17	2017-18
1 (Sept.)	4.000	2.270	2.050	6.300	5.340	2.730
2 (Sept.)	3.800	930	1.390	5.600	4.230	2.680
3 (Oct.)	3.750	1.300	1.250	6.190	4.770	2.760
4 (Oct.)	3.770	900	670	4.430	4.190	1.640

No obstante, lo anterior, las siembras de agosto también deberían dar un buen resultado, debido a que probablemente el suelo tendrá mayor humedad y las semillas germinando correrán menos riesgo de deshidratarse. Las temperaturas del suelo probablemente serán inferiores a lo óptimo, pero de acuerdo a un experimento en

Dinamarca con una variedad danesa originada a partir de material “de nivel del mar” chileno, la germinación máxima se obtuvo con 15 a 20°C. Sin embargo, altas tasas de germinación se obtuvieron también con la temperatura mínima evaluada, 8°C (Jacobsen y Bach, 1998). De hecho, la quínoa se siembra usualmente con temperatura de suelo de 7-8°C en Dinamarca. También en Inglaterra, 5-8°C en el suelo se considera temperatura adecuada para sembrar quínoa en primavera (Galwey, 1989). Por el contrario, Jacobsen et al. (1999) encontraron que con 6°C de temperatura del suelo la germinación disminuía a una cuarta parte de la correspondiente a la temperatura óptima. El mismo estudio mostró que la germinación a baja temperatura era nula si la semilla había sido cosechada prematuramente y subía a 45% de germinación si había sido cosechada posteriormente. Jacobsen et al. (1999) sugieren que puede buscarse entre los materiales “de nivel del mar”, aquellos capaces de germinar a bajas temperaturas a fin de adelantar la época de siembra. Una época de siembra temprana podría significar un establecimiento temprano, mayor competitividad con malezas y cosecha adelantada. Si no se encuentra en materiales chilenos podría incorporarse por cruces con materiales peruanos que han mostrado buena tasa de germinación a temperaturas de 2°C.



Foto 2. Parcelas con cuatro diferentes fechas de siembra mostrando el desarrollo de la quínoa en noviembre (izquierda) y diciembre (derecha). Desde el fondo hacia el frente: 1° semana septiembre; 3° semana septiembre; 1° semana octubre y 3° semana octubre.

Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca)

3.5 Recomendaciones agronómicas

3.5.1 Espaciamiento. El espaciamiento entre surcos a 40 cm es más recomendable que a 20 cm. La ganancia en rendimiento es pequeña, pero hay otras ventajas: mejora la circulación de aire y las plantas son más sanas, es posible desmalezar manualmente si es necesario y el peso de grano aumenta levemente.

3.5.2 Dosis de siembra. Se recomienda una dosis de 10 kilos por hectárea de semilla. Con adecuada preparación de suelo y tasa de germinación, la dosis puede bajar hasta 5 kilos por hectárea, con una densidad de 40 plantas por metro cuadrado. El aumento de dosis de siembra no logra aumentos proporcionales de población de plantas.

3.5.3 Fecha de siembra. La evaluación de cuatro fechas de siembra en el período septiembre-octubre, tanto en el valle central como en el borde costero de La Araucanía, indica que lo más recomendable es sembrar la primera semana de septiembre.

3.5.4 Sistema de siembra. Si se dispone de sembradora con cajón para forrajeras, la quínoa va allí. Si es una sembradora de cereales convencional la semilla de quínoa debe ir en el cajón de fertilizante. Para simular el espaciamiento a 40 cm se tapa un tubo de salida por medio. La profundidad de siembra es relevante para un cultivo con semilla tan pequeña. Debe sembrarse superficialmente, a no más de 2,5 cm de profundidad. En suelos arcillosos es preferible que no supere los 2 cm. Por otro lado, si la semilla queda excesivamente superficial, al germinar se exponen a deshidratarse si el suelo tiene poca humedad y hay viento, como puede ocurrir en siembras de primavera. En suelos livianos se recomienda rodonar para mejorar la adherencia de la semilla al suelo y favorecer la germinación.

Referencias Bibliográficas

- Darwinkel A, Stolen O. 1997. Understanding the quinoa crop: guidelines for growing in temperate regions of NW Europe. European Commission, Brussels.
- Galwey NW. 1989. Exploited plants – quinoa. *Biologist* 36(5):267-274.
- Gómez-Pando L, Aguilar-Castellanos E. 2016. Guía de cultivo de la quínoa. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Jacobsen SE, Jorgensen I, Stolen O. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 122(1):47.
- Jacobsen SE, Bach AP. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Science and Technology* 26(2):515-524.
- Jacobsen SE, Jornsrgard B, Christiansen JL, Stolen O. 1999. Effect of harvest time, drying technique, temperature and light on the germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Seed Science and Technology* 27:937-944.
- Johnson DL, Croissant RL. 1985. Quinoa production in Colorado. Fort Collins, Colorado. Colorado State University Cooperative Extension. Service-In-Action Sheet N°112.
- Lesjak J, Calderini D. 2013. Efecto del aumento de la temperatura y reducción de la fuente de asimilados sobre el rendimiento de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el sur de Chile. IV Congreso Mundial de la quínoa. Pósters. Ibarra, Ecuador, 8-12 julio 2013.
- Peralta E, Mazón N, Murillo A, Rivera M, Monar C. 2009. Manual agrícola de granos andinos: Chocho, Quínoa, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. Manual N°69. 2ª Impresión. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 71 p.
- Peterson AJ, Murphy KM. 2015. Quinoa cultivation for temperate North America: Considerations and areas for investigation. In K Murphy & J Matanguihan (eds) *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*, 173-192. John Wiley & Sons.
- Risi JC, Galwey NW. 1991. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 117(03):325-332.
- Von Baer I, Bazile D, Martínez EA. 2009. Cuarenta años de mejoramiento de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en La Araucanía: Origen de "La Regalona-B". *Revista Geográfica de Valparaíso* 42:34-44.



Capítulo 4
GESTIÓN NITROGENADA Y POTÁSICA DEL
CULTIVO DE QUÍNOA EN LA ARAUCANÍA

Ricardo Campillo R.
Guillermo Contreras J.

4.1 Introducción

La característica nutricional más importante de la quínoa es el contenido de proteína, que es de alrededor de 16% base materia seca y su balance rico en aminoácidos esenciales. Su contenido proteico es mayor respecto a otros cereales como son el maíz (*Zea mays*); trigo (*Triticum aestivum*); arroz (*Oryza sativa*) con 9,4, 8,9 y 8,6%, respectivamente (Galwey, 1993; Koziol, 1993; Ranhotra et al., 1993).

La quínoa tiene cualidades que le permiten adaptarse a condiciones ambientales diversas como son suelos pobres, sequía y heladas, y se puede cultivar a diferentes altitudes, desde los 3000 m hasta el nivel del mar (Wahli, 1990). La siembra debe realizarse entre los meses septiembre a octubre en la zona centro-sur de Chile y la cosecha se efectúa aproximadamente seis a ocho meses después, dependiendo de la precocidad del genotipo utilizado.

Se estima que la quínoa es un cultivo rústico y que requiere suelos pobres. Sin embargo, esta condición determina también rendimientos limitados. En la condición del altiplano generalmente los campesinos no fertilizan la quínoa, por lo cual es altamente dependiente del efecto residual del cultivo anterior, que normalmente es papa (Tapia, 1990).

Baer (1995), evaluó dos genotipos de quínoa en un suelo andisol de Temuco, concluyendo que el cultivar Baer II alcanzó el mayor rendimiento (6.090 kg ha⁻¹) con una distancia entre hileras de 40 cm, maximizándose el rendimiento en ambos cultivos con la dosis de 10 kg ha⁻¹ de semilla, equivalentes a 135,5 plantas m⁻².

Según Ávila y Etchevers (1988), los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio del cultivo son aparentemente altos. La producción de materia seca de la parte aérea de la planta en un experimento en macetas con un suelo de baja fertilidad natural, aumentó significativamente con las aplicaciones de estos nutrientes.

Generalmente se indica que el cultivo de quínoa responde adecuadamente a la fertilización nitrogenada. El rendimiento se incrementa cuando la dosis de nitrógeno aumenta de 40 a 160 kg ha⁻¹ (Jacobsen et al., 1994). También se han obtenido buenos rendimientos con aplicaciones de 120 kg ha⁻¹ de N, mientras que dosis entre 150 y 180 kg ha⁻¹ han determinado disminución del rendimiento (Álvarez y von Rütte, 1990; Jacobsen et al., 1994).

Berti y otros, (2000), utilizaron dos genotipos de quínoa en un suelo *Typic melanoxerand* de Chillán (Ñuble), alcanzando rendimientos máximos con 190 kg ha⁻¹ (FARO) y 236 kg ha⁻¹ (UDEDEC10). Indicaron que el rendimiento proteico mostró una respuesta lineal para la fertilización nitrogenada, alcanzando el máximo con la mayor dosis en ambos genotipos.

Respecto a la parcialización del N, existe bastante coincidencia en que la mitad de la dosis debe ser a la siembra y la otra mitad previo a la floración (Álvarez y von Rütte, 1990). Sin embargo, otros autores (Tapia, 1990), señalan que la parcialización del N debe realizarse mitad a la siembra y la otra parcialidad a la aporca (aproximadamente 50 días luego de la germinación).

En relación a la fertilización con fósforo (P) y potasio (K) no existe consenso. Algunos autores indican que el P no es importante y no es considerado en las fórmulas de fertilización. Sin embargo, se mencionan recomendaciones generales de dosis entre 40 a 80 kg ha⁻¹ de fosfato. En cuanto al K, este nutriente se ha descartado de las recomendaciones de fertilización en razón a la ausencia de respuesta (Álvarez y von Rütte, 1990). Según estos autores las respuestas a P y K no fueron consistentes. Ello podría indicar que la planta de quínoa encuentra estos nutrientes en cantidades adecuadas en el suelo, puesto que los análisis de grano muestran altos contenidos de dichos nutrientes.

Por su parte, Choquehuanca (1988), señala que, en ensayos realizados en Perú, el K es el elemento más extraído por el cultivo de la quínoa, superando la extracción total de N.

En Chile existen escasos antecedentes de los requerimientos nutricionales del cultivo de quínoa, principalmente en la zona centro sur y sur. Las condiciones climáticas y las características de suelos diferentes drásticamente del norte del país, por lo cual no es dable extrapolar información agronómica del cultivo entre ambas zonas del país. Matus, Ruff y Pinto (2015), señalan que, de acuerdo a ensayos de campo realizados en Litueche (Condiciones de secano, Región de O'Higgins) y Chillán (Condiciones de riego, Región de Ñuble), la respuesta a N estuvo fuertemente condicionada a la variedad de quínoa. En la localidad de secano (Hidango, comuna de Litueche), no se observó una clara respuesta a las dosis crecientes de N. En el caso de Chillán (bajo riego), la mejor respuesta se obtuvo con 150 kg ha⁻¹ de N y con la variedad Riobamba.

La escasa y aislada información técnica existente sobre los requerimientos nutricionales requeridos por el cultivo de quínoa, establecido en las condiciones agroecológicas de La Araucanía justificó que en el desarrollo del proyecto FIA se abordaran estos desafíos tecnológicos. A continuación, se presenta una síntesis con los principales resultados sobre la gestión de nitrógeno y potasio en dos comunas de la Región de La Araucanía.

4.2 Características de los suelos del Llano Central y Precordillera de La Araucanía

Una alta proporción del área de cultivos se desarrolla en suelos derivados de cenizas volcánicas que, de acuerdo a su edad, se clasifican como rojo-arcillosos, los más antiguos, transicionales, algo más recientes y trumaos, los más nuevos. Todos se caracterizan por su alta capacidad de fijación de fósforo, que puede alcanzar niveles superiores a 90% en los trumaos y sobre 70% en los rojo-arcillosos (Rodríguez, 1993).

El estudio se realizó en el predio del Centro de Investigación INIA Carillanca, comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, durante tres ciclos productivos consecutivos. El suelo correspondió a la serie Vilcún (Andisol). Este suelo está sometido tradicionalmente a una rotación intensiva de cultivos anuales, bajo el sistema de labranza tradicional con quema de residuos. La caracterización inicial de los suelos se realizó de acuerdo a las metodologías establecidas en Sadzawka *et al.* (2006). Los sitios corresponden a potreros diferentes del mismo predio y presentaron niveles de fertilidad adecuados, con limitaciones moderadas por acidez y con un bajo nivel de N inicial.

4.3 Características de los suelos del Borde Costero de La Araucanía

La zona del Borde Costero de La Araucanía presenta mayoritariamente dos agrupaciones de suelos: trumaos (Andisoles) y rojos arcillosos (Ultisoles). Ambos tipos de suelos tienen en común su evolución a partir de cenizas volcánicas de diferentes antigüedades. El origen volcánico de ambas agrupaciones de suelo es el responsable del proceso de "retención o fijación del fósforo soluble" (Rodríguez, 1993) y la necesidad de aplicar dosis altas y localizadas de fósforo a la siembra para obtener buenos rendimientos, producciones de calidad y en forma rentable.

Por otra parte, estos suelos también se destacan por una gran capacidad de mineralizar nitrógeno, preferentemente en los meses de primavera, nutriente que puede ser utilizado por el cultivo en desarrollo. Este aporte natural de nitrógeno del propio suelo se debe preferentemente a la acumulación de residuos frescos provenientes de la cosecha del cultivo anterior (Campillo, 2013), principalmente papa. Estos dos procesos (Efecto residual del fósforo y gran capacidad de mineralización de nitrógeno), explican la ventaja e impacto del denominado "**Bochán de papa**" (suelo que queda disponible luego de una plantación de papa) en la productividad del cultivo siguiente, como continuador de la rotación de cultivos.

Con el fin de visualizar el impacto que tiene el suministro natural de nitrógeno del suelo sobre la productividad del cultivo de trigo, se compararon tres suelos trumaos ubicados en distintas localidades de Cautín (Campillo, 2013). En todos los casos el nivel de fósforo disponible fue muy alto. Los rendimientos de grano del trigo Maxwell, sin aplicación de nitrógeno-fertilizante, fluctuaron entre 29,3 qqm ha⁻¹ (INIA Carillanca) y 98 qqm ha⁻¹ (Tranapunte), resaltando el impacto del aporte natural de nitrógeno y la capacidad de mineralización de los residuos de cosecha del pre cultivo de papa, bajo el suelo de Tranapunte. Este antecedente grafica el potencial productivo que es posible alcanzar en este suelo con un pre cultivo de papa.

El estudio también se realizó en el predio Tranapunte, comuna de Carahue, Región de La Araucanía, durante tres ciclos productivos consecutivos. El suelo correspondió a un andisol del borde costero, utilizado anteriormente con diferentes cultivos. En el

ciclo productivo 20015-2016 el pre cultivo fue papa; en el siguiente ciclo 2016-2017, fue poroto grano y en el ciclo final 2017-2018 fue una pradera naturalizada de tres años.

4.4. Gestión del Nitrógeno en el Cultivo de Quínoa en La Araucanía

Para determinar la tecnología y uso de los fertilizantes nitrogenados utilizados en este proyecto se diseñó un set de experimentos de campo en dos comunas de La Araucanía (Vilcún y Carahue), insertas en la zona productora de quínoa de la región.

Los objetivos de las evaluaciones experimentales implementadas con el cv. Regalona Baer y el genotipo CQU 162, en dos zonas edafoclimáticas de las comunas elegidas durante los ciclos productivos 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018 permitieron evaluar el efecto del N (como urea) sobre el rendimiento y calidad de grano de quínoa en un andisol, estimar las dosis óptimas físicas (DOF) y económicas (DOE) para su producción en un andisol sometido a una rotación de cultivos anuales y determinar el efecto de dosis de N en la eficiencia de uso de N en el cultivo.

4.4.1 Metodología de Optimización de Dosis de Nutrientes

La forma correcta de comparar niveles cuantitativos de una variable es a través del ajuste de una función de respuesta. Para establecer las dosis óptimas físicas y económicas derivadas de los experimentos, se ajustó un polinomio de segundo grado a los resultados de rendimientos del cultivo de quínoa evaluado (Rebolledo, 1999): $Y = a + bX + cX^2$, donde Y es el rendimiento del cultivo en qqm o kg ha⁻¹, X es la dosis del nutriente en kg ha⁻¹ y a , b y c son parámetros de la regresión.

En determinadas zonas edafoclimáticas puede ser necesario estimar el rendimiento máximo del cultivo para una localidad específica. Utilizando el modelo de regresión estimado (Volke, 1982), es posible calcular la dosis de fertilizante (nutriente específico) para obtener el rendimiento máximo. Dicha dosis se conoce como **dosis óptima física (DOF)** de un nutriente.

Asumiendo el costo por unidad de nutriente y el valor de un quintal de quínoa se puede calcular la relación de precios insumo/producto. De esta manera, se puede estimar las **dosis óptimas económicas (DOE)** del nutriente y su respectivo *rendimiento óptimo económico* para producción de grano. La DOE de un nutriente se define cuando los incrementos del ingreso neto ante incrementos de los costos variables, son iguales a la **Tasa de Retorno (TR)**, donde TR es la tasa de retorno mínima a obtener.

Es importante recordar que TR son las ganancias que el agricultor obtiene por el dinero invertido. Por ejemplo, una TR del 50 % significa que el agricultor obtiene un ingreso neto de \$50 por cada \$100 invertidos.

4.5. Experimentos de Campo en Gestión de N en INIA Carillanca

El estudio inicial se realizó en el ciclo 2015-2016 bajo condiciones de secano, en un andisol de la serie Vilcún ubicado en el predio de INIA Carillanca, comuna de Vilcún. Los rendimientos de grano para Regalona Baer estuvieron por debajo del potencial, fluctuando entre 11 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 35,9 qqm ha⁻¹ (320 kg ha⁻¹ N).

La DOF alcanzó a 328,8 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 35,4 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 277,2 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 1), alcanzando un rendimiento óptimo de 34,8 qqm ha⁻¹. De acuerdo a la DOE estimada (Cuadro 1) se necesitaron solamente 8 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 1. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Carillanca, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	11.0		
2	SI ₃₀ -4H ₅₀ -6H ₀ -8H ₀	80	21.4	26.8	3.7
3	SI ₃₀ -4H ₆₅ -6H ₆₅ -8H ₀	160	30.0	18.7	5.3
4	SI ₄₀ -4H ₁₀₀ -6H ₁₀₀ -8H ₀	240	33.6	14.0	7.1
5	SI ₄₀ -4H ₁₂₀ -6H ₁₂₀ -8H ₄₀	320	35.4	11.1	9.0
6	SI ₆₀ -4H ₁₄₀ -6H ₁₄₀ -8H ₆₀	400	34.3	8.6	11.7
	DOF	328.8	35.4	10.8	9.3
	DOE	277.2	34.8	12.5	8.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 10,989 + 0,148433X - 0,00022572X^2$ ($R^2 = 0.9976$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$776 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa).

SI: siembra; 4H: 4 hojas; 6H: 6 hojas; 8H: 8 hojas. Valores a junio de 2019.



Foto 1. Fertilización con nitrógeno en quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, comuna de Vilcún, diciembre de 2015.

Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo).

Los rendimientos de proteína de grano de quínoa Regalona Baer durante el ciclo 2015-2016 estuvieron por debajo del potencial. Los niveles de proteína de grano de los tratamientos fluctuaron solo entre 8,6% (80 kg ha⁻¹ N) y 12,7 % (400 kg ha⁻¹ N). A su vez, los rendimientos de grano del genotipo CQU 162, fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 10,2 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 32,1 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ N).

Durante el ciclo 2016-2017 en Carillanca bajo condiciones de secano, los rendimientos de quínoa Regalona Baer estuvieron nuevamente por debajo del potencial, fluctuando entre 11,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 32,7 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). La DOF fue de 280 kg ha⁻¹ de N anual, alcanzando un rendimiento máximo de 34,1 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 250,5 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 2), alcanzando un rendimiento óptimo de 33,9 qqm ha⁻¹. Es decir, con la DOE estimada se necesitaron solamente 7,4 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 2. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer.
Carillanca, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹ sumin.	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	12.2		0.0
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -6H ₅₀ -8H ₀	120	26.9	22.4	4.5
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₀	240	33.7	14.0	7.1
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₁₂₀	360	32.3	9.0	11.1
	DOF	280.0	34.1	12.2	8.2
	DOE	250.5	33.9	13.5	7.4

*:Ajuste cuadrático. $Y = 12.185 + 0.15654X - 0.000559X^2$ ($R^2 = 0.9898$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Los rendimientos de proteína de grano de quínoa Regalona Baer durante la temporada 2016-2017 fueron elevados y fluctuaron entre 12,2 % (0 kg ha⁻¹ N) y 16,1 % (240 kg ha⁻¹ N). La dosis de 240 N fue más eficiente que las restantes. A su vez, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron superiores a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 15,3 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 37,2 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). Los niveles de proteína de grano de los tratamientos fluctuaron entre 13,75 % (0 kg ha⁻¹ N) y 15,25 % (360 kg ha⁻¹ N), incrementándose en función del N aplicado.

Finalmente, durante el último ciclo productivo (2017-2018) y en condiciones de secano, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer siguieron por debajo del potencial productivo. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 22,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 34,6 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N).

De acuerdo al ajuste cuadrático (Cuadro 3), la DOF fue de 300,7 kg ha⁻¹ de N anual, alcanzando un rendimiento máximo de 34,7 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 235,6 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento óptimo de 34,2 qqm ha⁻¹. A partir de esta DOE estimada (Cuadro 3), se necesitaron solamente 6,9 kg de N para producir un qqm de quínoa.

Cuadro 3. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Carillanca, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	23.2		
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -8H ₅₀ -IP ₀	120	30.6	25.5	3.9
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₀	240	34.2	14.3	7.0
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₁₂₀	360	34.3	9.5	10.5
	DOF	300.7	34.7	11.5	8.7
	DOE	235.6	34.2	14.5	6.9

*: Ajuste cuadrático. $Y = 23.245 + 0.0762X - 0.000126X^2$ ($R^2 = 0.9713$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Por su parte, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 15,3 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 30,7 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N).

4.6. Experimentos de Campo en Gestión de N en Tranapunte

El experimento se realizó durante el ciclo 2015-2016 bajo condiciones de secano, en el predio Tranapunte de INIA, comuna de Carahue. Se utilizó el cultivar Regalona Baer y el genotipo CQU 162. El déficit de precipitaciones afectó la fenología normal del cultivo. Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer fueron elevados, acercándose al potencial productivo de la zona de Tranapunte. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 43,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 51,1 qqm ha⁻¹ (240 kg ha⁻¹ N).



Foto 2. Comparación de dosis nitrogenada (0 vs. 80 kg ha⁻¹ de N) en quínoa Regalona Baer. Tranapunte, comuna de Carahue, diciembre de 2015. Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo).

Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo de quínoa, lo cual se explica por el alto potencial productivo de la zona de Tranapunte. El pre cultivo de papa del sitio experimental fue fundamental, aportando una gran cantidad de residuos de cosecha.

A partir del ajuste cuadrático de los rendimientos de quínoa (Cuadro 4), se estimó una DOF de 205,4 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 51 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 132,7 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 4), alcanzando un rendimiento óptimo de 50,1 qqm ha⁻¹. La DOE estimada significa que se necesitaron solamente 2,6 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión. Los contenidos de proteína de grano de quínoa Regalona Baer durante la temporada 2015-2016 fueron adecuados, a pesar de la disminución de las precipitaciones principalmente durante la primavera y fluctuaron entre 14,1% (80 kg ha⁻¹ N) y 14,5% (240 kg ha⁻¹ N).

Cuadro 4. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	44.2		
2	SI ₃₀ -4H ₅₀ -6H ₀ -8H ₀	80	48.4	60.5	1.7
3	SI ₃₀ -4H ₆₅ -6H ₆₅ -8H ₀	160	50.6	31.6	3.2
4	SI ₄₀ -4H ₁₀₀ -6H ₁₀₀ -8H ₀	240	50.8	21.2	4.7
5	SI ₄₀ -4H ₁₂₀ -6H ₁₂₀ -8H ₄₀	320	48.9	15.3	6.5
6	SI ₆₀ -4H ₁₄₀ -6H ₁₄₀ -8H ₆₀	400	44.9	11.2	8.9
	DOF	205.4	51.0	24.8	4.0
	DOE	132.7	50.1	37.8	2.6

*:Ajuste cuadrático. $Y = 44.207 + 0,065776X - 0,0001601X^2$ ($R^2 = 0.9405$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$776 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Por otra parte, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2015-2016, fueron levemente más bajos que los de la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 38,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 47,9 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ N).

Durante el ciclo 2016-2017, realizado bajo condiciones de secano, en el predio de Tranapunte, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer estuvieron claramente por debajo del potencial. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 30,9 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 43,2 qqm ha⁻¹ (240 kg ha⁻¹ N). Es importante resaltar que el sitio experimental tenía como pre cultivo poroto para grano, lo que marca una diferencia fundamental con lo ocurrido en el ciclo previo (2015-2016).

La DOF calculada fue de 260,9 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 43 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 214,7 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 5), con un rendimiento óptimo de 42,6 qqm ha⁻¹. Según esta DOE estimada, se necesitaron solamente 5 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 5. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹ sumin.	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	30.8		0.0
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -6H ₅₀ -8H ₀	120	39.4	32.8	3.0
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₀	240	42.9	17.9	5.6
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₁₂₀	360	41.2	11.4	8.7
	DOF	260.9	43.0	16.5	6.1
	DOE	214.7	42.6	19.8	5.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 30.795 + 0.09329X - 0.0001788X^2$ ($R^2 = 0.9974$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Los rendimientos de proteína de quínoa Regalona Baer durante el ciclo 2016-2017 fueron altos, a pesar de la disminución de las precipitaciones principalmente durante la primavera y fluctuaron entre 13,4 % (0 kg ha⁻¹ N) y 15,4 % (240 kg ha⁻¹ N).

Por su parte, los rendimientos de grano del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (Datos no mostrados), fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 31,2 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 40,8 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). Al igual que la quínoa Regalona Baer, el sitio experimental tenía como pre cultivo poroto para grano, lo que marca una diferencia fundamental con lo ocurrido en el ciclo previo (2015-2016). Los niveles de proteína de grano de CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 superaron a la quínoa Regalona Baer, fluctuando entre 14,75 % (sin N) y 16,65 % (360 kg ha⁻¹ N).

Finalmente, durante el ciclo 2017-2018 realizado bajo condiciones de secano los rendimientos de grano estuvieron también por debajo del potencial, fluctuando entre 23,5 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 31,9 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). Es preciso señalar que el sitio experimental tenía como pre cultivo pradera naturalizada, lo cual afectó fuertemente la producción de la quínoa.

El ajuste de los rendimientos de grano estimó una DOF de 333,8 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 31,9 qqm ha⁻¹. De acuerdo al proceso de optimización la DOE estimada fue de 225,8 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 6), alcanzando

un rendimiento óptimo de 31 qqm ha⁻¹. La DOE estimada permite concluir que se necesitaron solamente 7,3 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 6. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹ sumin.	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	23.4		
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -8H ₅₀ -IP ₀	120	28.4	23.7	4.2
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₀	240	31.3	13.0	7.7
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₁₂₀	360	31.8	8.8	11.3
	DOF	333.8	31.9	9.6	10.5
	DOE	225.8	31.0	13.7	7.3

*:Ajuste cuadrático. $Y = 23.42 + 0.051X - 0.000076X^2$ ($R^2 = 0.9972$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Finalmente, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2017-2018 (datos no mostrados), fueron menores que la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 28,9 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 36,9 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N).

4.7. Experimentos de Campo de Gestión de Parcialización Nitrogenada de Quínoa

El manejo eficiente del nitrógeno requiere parcializar el fertilizante durante el desarrollo de la quínoa para optimizar su producción de grano. Para ello es fundamental identificar las dosis de nitrógeno y su parcialización requerida en los diferentes estados fenológicos del cultivo. Con este objetivo se diseñó el siguiente experimento.

El estudio se realizó en el ciclo 2017-2018, en condiciones de secano, en un suelo andisol de la serie Vilcún ubicado en el predio de INIA Carillanca, comuna de Vilcún. Se utilizó solamente Regalona Baer, evaluándose tres alternativas de parcialización de la dosis anual de N (240 kg ha⁻¹). Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer fueron normales, pero nuevamente estuvieron por debajo del potencial. Los rendimientos de la temporada fluctuaron entre 24,3 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 37,2 qqm ha⁻¹ (240 kg ha⁻¹ N).

De acuerdo a los resultados (Cuadro 7), las tres parcializaciones evaluadas de la dosis única de N (240 kg ha⁻¹) resultaron ser similares en producción de quínoa. Sin embargo, el tratamiento 4 (SI₃₀-4H₉₀-8H₁₂₀-IP₀) tuvo la ventaja de omitir la parcialización en el

estado de inicio de panoja. Es importante destacar este resultado puesto que avala la selección del tratamiento como la gestión más eficiente de parcialización, y que fue utilizada normalmente en los restantes ensayos de fertilización del cultivo de quínoa.

Cuadro 7. Efecto de la gestión de parcialización de dosis de N en el rendimiento de grano de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹
3	SI ₃₀ -4H ₁₀₀ -8H ₀ -IP ₁₁₀	240	37.2 a
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₀	240	36.4 a
2	SI ₃₀ -4H ₇₀ -8H ₇₀ -IP ₇₀	240	32.9 a
1	0	0	24.3 b

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según Prueba de Tukey. SI: siembra; 4H: 4 hojas; 8H: 8 hojas; IP: Inicio Panoja

El siguiente experimento se realizó en el ciclo 2017-2018, en condiciones de secano en Tranapunte, comuna de Carahue. Se utilizó solamente Regalona Baer, evaluándose tres alternativas de parcialización de la dosis anual de N (180 kg ha⁻¹). Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer nuevamente estuvieron por debajo del potencial. Otro factor de importancia fue el atraso en la fecha de establecimiento del ensayo (octubre de 2018). Los rendimientos de grano de la temporada fluctuaron entre 22,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 29,6 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ N). De acuerdo a los resultados (Cuadro 8), las tres parcializaciones evaluadas de la dosis única de N (180 kg ha⁻¹ N) resultaron ser similares en producción de quínoa. Sin embargo, el tratamiento 4 (SI₃₀-4H₇₅-8H₇₅-IP₀), tuvo la ventaja de omitir la parcialización en el estado de inicio de panoja. Es importante destacar este resultado, puesto que avala la selección del tratamiento como la gestión más eficiente de parcialización, y que fue utilizada normalmente en los restantes ensayos de fertilización del cultivo de quínoa.

Cuadro 8. Efecto de la gestión de parcialización de dosis de N en el rendimiento de grano de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹
3	SI ₃₀ -4H ₇₅ -8H ₀ -IP ₇₅	180	29.6 a
2	SI ₃₀ -4H ₅₀ -8H ₅₀ -IP ₅₀	180	29.1 a
4	SI ₃₀ -4H ₇₅ -8H ₇₅ -IP ₀	180	29.0 a
1	0	0	22.8 b

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según Prueba de Tukey. SI: siembra; 4H: 4 hojas; 8H: 8 hojas; IP: Inicio Panoja

4.8. Conclusiones de la Gestión Nitrogenada en Quínoa

El análisis comparativo del comportamiento productivo permitió establecer diferencias importantes de las quínoas evaluadas en ambas localidades.

En INIA Carillanca y durante los tres ciclos de producción (Cuadro 9), la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 tuvieron como pre cultivo una rotación intensiva de cereales. Este hecho explica que, tanto las DOE de N estimadas, las producciones de grano obtenidas y las EUN calculadas muestren una variación mínima, tanto en el tiempo como en el espacio.

En cambio, en Tranapunte durante los tres ciclos productivos (Cuadro 9), la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 tuvieron distintos pre cultivos, que marcaron dramáticamente sus índices productivos. Así en el ciclo 2015-2016, el pre cultivo fue un rastrojo de papa, por lo cual la DOE de N fue muy baja, con una producción de grano muy elevada y alcanzando también una EUN muy buena.

Cuadro 9. Producción, DOE y EUN de quínoa Regalona Baer y genotipo CQU 162 en dos localidades de La Araucanía

Ciclo Productivo	Carillanca			Tranapunte		
	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano
2015-2016	277.2	34.8	8.0	132.7	50.1	2.6
2016-2017	250.5	33.9	7.4	214.7	42.6	5.0
2017-2018	235.6	34.2	6.9	225.8	31.0	7.3
Ciclo Productivo CQU 162	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano
2016-2017	288.1	36.6	7.9	240	39.2	6.1
2017-2018	263.2	30.5	8.6	216	36.1	6.0

En el siguiente ciclo productivo de Tranapunte (2016-2017), tuvo como pre cultivo un rastrojo de poroto para grano, lo cual determinó un incremento de la DOE de N estimada, y una significativa disminución del rendimiento de grano y de la EUN calculada.

Este fenómeno se profundizó durante el tercer ciclo productivo (2017-2018), donde el pre cultivo correspondió a una pradera naturalizada de tres años. En esta oportunidad, la DOE de N siguió incrementándose, mientras el rendimiento siguió disminuyendo y en forma paralela se incrementó la EUN.

Adicionalmente al efecto del pre cultivo sobre la quínoa también se constató una marcada diferencia productiva entre las dos zonas estudiadas en el proyecto. En la localidad de INIA Carillanca y durante los tres ciclos de producción (Cuadro 9), la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 requirieron DOE de N más elevadas, alcanzando normalmente buenos rendimientos de grano, aunque menores que los obtenidos por este mismo cultivar en Tranapunte.

Un panorama similar se visualizó respecto a la EUN de quínoa. En este caso, normalmente la quínoa producida en Tranapunte (Cuadro 9), requirió menos kg N qqm^{-1} de grano producido que la misma quínoa producida en INIA Carillanca, considerando el mismo ciclo productivo. Los resultados productivos y de EUN del cultivo de quínoa alcanzados en estos ambientes de gran contraste (clima y suelo), ponen de relieve la importancia del pre cultivo para el comportamiento de la quínoa. Así, en la zona de Tranapunte, el pre cultivo utilizado condicionó la DOE de N y el rendimiento alcanzado por la quínoa Regalona Baer. La recomendación técnica en orden de prioridad es elegir como pre cultivo: 1° el rastrojo de papa; 2° el rastrojo de leguminosa y 3° el rastrojo de pradera naturalizada, aplicando las DOE de N detalladas en el cuadro 9.

En la zona de INIA Carillanca, donde se presentó una rotación intensiva de cereales que generó una menor calidad de los residuos aportados al cultivo de quínoa, se produjo una condición productiva más estable y equilibrada en el tiempo. Bajo estas condiciones, es posible definir una recomendación promedio de DOE de N, de los tres ciclos productivos, es decir, un rango de 240 a 250 kg ha^{-1} para obtener un rendimiento esperado en torno a 34 qqm ha^{-1} de quínoa Regalona Baer.



Foto 3. Vista panorámica del experimento de gestión nitrogenada con quínoa Regalona Baer. Tranapunte, comuna de Carahue, diciembre de 2015. Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)

4.9. Gestión del Potasio en el Cultivo de Quínoa en La Araucanía

Para determinar la tecnología y uso del fertilizante potásico (K_2O) se diseñó un set de experimentos de campo en dos comunas de La Araucanía (Vilcún y Carahue). Los objetivos generales de cada una de las evaluaciones experimentales implementadas con el cultivar Regalona Baer y el genotipo CQU 162 en los ciclos productivos 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018 fueron: evaluar el efecto del potasio (K_2O) sobre el rendimiento y calidad de grano de quínoa, estimar las dosis óptimas físicas y económicas de K_2O para la producción de quínoa en un suelo andisol sometido a una rotación de cultivos anuales y determinar el efecto de dosis de K_2O en la eficiencia de uso del nutriente por el cultivo.

4.10. Experimentos de Campo en Gestión de Potasio en INIA Carillanca

Los experimentos del primer ciclo productivo (2015-2016), se realizaron en el predio de INIA Carillanca, comuna de Vilcún, bajo condiciones de secano, utilizándose el cultivar de quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162. Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer (Cuadro 10), fueron adecuados. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 26,3 qqm ha^{-1} (Testigo sin K_2O) y 31,4 qqm ha^{-1} (80 kg ha^{-1} K_2O). Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo de quínoa, debido al elevado contenido de K de intercambio que presentaba el suelo trumao (0,6 cmol+ kg^{-1}).

Cuadro 10. Índices de eficiencia de uso de K_2O de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K_2O $kg\ ha^{-1}$	Rendimiento qqm ha^{-1} *	EUK $kg\ grano\ kg\ K_2O^{-1}$	kg K_2O qqm $^{-1}$ grano
1	0	0	25.9		
2	SI ₂₀ -4H ₂₀ -6H ₀	40	28.6	71.5	1.4
3	SI ₄₀ -4H ₄₀ -6H ₀	80	30.1	37.6	2.7
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	30.6	25.5	3.9
5	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₄₀	160	29.9	18.7	5.4
6	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₈₀	200	28.2	14.1	7.1
	DOF	116.2	30.6	26.3	3.8
	DOE	90.7	30.4	33.5	3.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 25.946 + 0,080116X - 0,0003448X^2$ ($R^2 = 0.8106$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica. Relación de precios: \$585 (kg K_2O) / \$50.000 (qqm quínoa). SI: siembra; 4H: 4 hojas; 6H: 6 hojas; 8H: 8 hojas. Valores a junio de 2019

El ajuste de los rendimientos de grano de quínoa estableció una DOF de 116,2 kg ha⁻¹ de K₂O anual, con un rendimiento máximo de 30,6 qqm ha⁻¹. Por su parte, la DOE estimada fue de 90,7 kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 10), alcanzando un rendimiento óptimo de 30,4 qqm ha⁻¹.

También se realizó un análisis de eficiencia de utilización del fertilizante potásico, donde la DOE estimada alcanzó una elevada EUK de 33,5 kg de grano por kg de K₂O suministrado (Cuadro 10). En otras palabras, se necesitaron solamente 3 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa.

En el caso del genotipo CQU 162, los rendimientos de grano durante el ciclo 2015-2016 (datos no mostrados), fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 26,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 29,5 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O).

Durante el segundo ciclo productivo (2016-2017), bajo condiciones de secano, los rendimientos de grano fluctuaron entre 28,4 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 31,7 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo de quínoa, lo cual se explica por el contenido inicial de K de intercambio que presentaba el suelo trumao. De acuerdo a estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,4 cmol+/kg de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo de quínoa.

Según el ajuste de los rendimientos de grano, la DOF fue de 180,9 kg ha⁻¹ de K₂O anual, alcanzando un rendimiento máximo de 31,6 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 111,5 kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 11), con un rendimiento óptimo de 31,1 qqm ha⁻¹. Esta DOE estimada alcanzó una elevada EUK, es decir se necesitaron solamente 3,6 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 11. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	28.4	0.0	0.0
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -6H ₀	60	30.2	50.3	2.0
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	31.2	26.0	3.8
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₆₀	180	31.6	19.8	5.1
	DOF	180.9	31.6	17.5	5.7
	DOE	111.5	31.1	27.9	3.6

*:Ajuste cuadrático. $Y = 28.41 + 0.035166X - 0.0000972X^2$ ($R^2 = 0.9620$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019

Foto 4. Ensayos de Gestión del potasio con quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, comuna de Vilcún, diciembre de 2015. Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)



La absorción acumulada de potasio en el grano de quínoa durante la temporada 2016-2017 alcanzó niveles adecuados a pesar de la disminución de las precipitaciones, principalmente durante la primavera.

En cuanto al genotipo CQU 162, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron menores a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 20,1 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 28,4 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Por último, en el ciclo productivo 2017-2018 también realizado en INIA Carillanca y bajo condiciones de secano, los rendimientos de quínoa Regalona Baer estuvieron por debajo del potencial. Los rendimientos de grano (Cuadro 12), fluctuaron entre 26,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 33,7 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Cuadro 12. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	26.7		
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -8H ₀	60	29.4	49.0	2.0
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₀	120	31.8	26.5	3.8
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₆₀	180	33.7	18.7	5.3
	DOF	441.0	37.5	8.5	11.8
	DOE	180	33.7	18.7	5.3

*:Ajuste cuadrático. $Y = 26.74 + 0.049X - 0.0000555X^2$ ($R^2 = 0.9974$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Todos los tratamientos evaluados mostraron efecto sobre la producción de quínoa. De acuerdo a estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,4 cmol+/kg de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo.

El modelo cuadrático distorsionó la DOF estimada, excediendo los niveles de K₂O evaluados. Por lo anterior, se estimó más realista fijar como DOE el nivel de 180 kg ha⁻¹ de K₂O, que constituye la dosis máxima estudiada experimentalmente.

La DOE estimada (180 kg ha⁻¹ de K₂O anual) alcanzó una elevada EUK, lo cual significa que se necesitaron solamente 5,3 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, indicando una alta eficiencia de conversión.

4.11. Experimentos de Campo en Gestión de Potasio en Tranapunte

En el ciclo 2015-2016 realizado en condiciones de secano en el predio Tranapunte de INIA, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer fueron elevados y acorde al potencial productivo de la zona de Tranapunte. Los rendimientos de grano (Cuadro 13), fluctuaron entre 50,6 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 59,3 qqm ha⁻¹ (80 kg ha⁻¹ K₂O). No hubo efecto de la fertilización potásica sobre la expresión de rendimiento de grano del cultivo de quínoa, a pesar de la diferencia de casi 9 qqm ha⁻¹ entre las producciones mencionadas.

Cuadro 13. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	50.4		
2	SI ₂₀ -4H ₂₀ -6H ₀	40	57.0	142.5	0.7
3	SI ₄₀ -4H ₄₀ -6H ₀	80	58.8	73.5	1.4
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	57.6	48.0	2.1
5	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₄₀	160	55.4	34.6	2.9
6	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₈₀	200	54.1	27.1	3.7
	DOF	57.2	57.3	100.2	1.0
	DOE	53.0	57.3	108.1	0.9

*:Ajuste cuadrático. $Y = 50.472 + 0,240552X - 0,0021036X^2$ ($R^2 = 0.9888$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$585 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Todos los tratamientos evaluados alcanzaron un buen nivel productivo de quínoa, lo cual se explica por el elevado contenido de K de intercambio que presentaba el suelo. Según estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,7 cmol+/kg

de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo.

Según el ajuste de los rendimientos de grano, la DOF fue de 57,2 kg ha⁻¹ de K₂O anual, alcanzando un rendimiento máximo de 57,3 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 53, kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 13), alcanzando un rendimiento óptimo de 57,3 qqm ha⁻¹. La DOE estimada alcanzó una elevada EUK, es decir se necesitaron solamente 0,9 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una altísima eficiencia de conversión.

La absorción acumulada de potasio en el grano de quínoa durante la temporada 2015-2016 presentó niveles adecuados a pesar de la disminución de las precipitaciones, principalmente durante la primavera. A su vez, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2015-2016 (datos no mostrados), fueron menores que la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 35,4 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 43,8 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O).

Durante el segundo ciclo productivo (2016-2017) realizado en Tranapunte bajo condiciones de secano, los rendimientos de grano del cultivar Regalona Baer fueron adecuados (Cuadro 14) y fluctuaron entre 24,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 31,8 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Cuadro 14. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK Kg grano kg K ₂ O ⁻¹	Kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	24.6	0.0	0.0
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -6H ₀	60	27.5	45.8	2.2
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	30.0	25.0	4.0
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₆₀	180	31.9	17.7	5.6
	DOF	385.4	34.9	9.0	11.1
	DOE	180	31.9	17.7	5.6

*:Ajuste cuadrático. $Y = 24.56 + 0.0535X - 0.0000694X^2$ ($R^2 = 0.9872$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica. Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo. De acuerdo a estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,45 cmol+ kg⁻¹ de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo de quínoa.

Como el modelo cuadrático distorsionó la DOF calculada, se estimó mejor establecer como DOE el nivel de 180 kg ha⁻¹ de K₂O (Cuadro 14), que representa la dosis máxima evaluada en este experimento. Esta DOE generó un rendimiento de 31,9 qqm ha⁻¹.

En base a los resultados obtenidos, se realizó un análisis de eficiencia de utilización del fertilizante potásico. La DOE estimada (180 kg ha⁻¹ de K₂O anual) alcanzó una elevada EUK, es decir se necesitaron solamente 5,6 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

La absorción acumulada de potasio en el grano durante la temporada 2016-2017 presentó niveles adecuados, a pesar de la disminución de las precipitaciones, principalmente durante la primavera.

Los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron mayores que la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 24,4 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 35,2 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O). Finalmente, en el último ciclo productivo (2017-2018), en condiciones de secano, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer (Cuadro 15), estuvieron muy por debajo del potencial. Los rendimientos fluctuaron entre 22,9 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 28,6 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O). Es preciso destacar que todos los tratamientos evaluados mostraron un bajo nivel productivo de quínoa. Suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,7 cmol+/kg de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo de quínoa.

El ajuste de los rendimientos de grano estimó una DOF de 135,1 kg ha⁻¹ de K₂O anual, alcanzando un rendimiento máximo de 28,7 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 113,5 kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 15), con un rendimiento óptimo de 28,5 qqm ha⁻¹. La DOE estimada significó una elevada EUK, es decir se requirieron solamente 4 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa.

Cuadro 15. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	22.9		
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -8H ₀	60	26.9	44.8	2.2
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₀	120	28.6	23.8	4.2
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₆₀	180	28.0	15.6	6.4
	DOF	135.1	28.7	21.2	4.7
	DOE	113.5	28.5	25.1	4.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 22.96 + 0.0844X - 0.000312X^2$ ($R^2 = 0.9815$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Foto 5. Ensayos comparativos de dosis de potasio (0 kg/ha vs. 40 kg/ha de K_2O) en quínoa Regalona Baer. Tranapunte, Comuna de Carahue, diciembre de 2015.

Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)



4.12. Conclusiones de la Gestión Potásica en Quínoa

La respuesta productiva requerida por el cultivo de quínoa dependió principalmente del nivel inicial de K de intercambio que poseía el suelo y en segundo término del pre cultivo. En Carillanca el suelo andisol presentó niveles iniciales decrecientes de K de intercambio a lo largo de los ciclos productivos, siendo alto en el ciclo 2015-2016 ($0,7 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$), medio en el ciclo 2016-2017 y medio a bajo en el ciclo 2017-2018. Esto determinó que las DOE de K_2O estimadas fueran crecientes en el tiempo (Cuadro 16), mientras que el rendimiento se mantuvo relativamente estable en torno a 32 qqm ha^{-1} .

Cuadro 16. Producción, DOE y EUK de quínoa Regalona Baer y genotipo CQU 162 en dos localidades de La Araucanía

Ciclo Productivo Regalona	Carillanca			Tranapunte		
	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano
2015-2016	90.7	30.4	3.0	53.0	57.3	0.9
2016-2017	111.5	31.1	3.6	180	31.9	5.6
2017-2018	180	33.7	5.3	113.5	28.5	4.0
Ciclo Productivo CQU 162	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano
2016-2017	166.9	28.5	5.9	188.5	35.3	5.3



Foto 6. Vista panorámica del experimento de gestión del potasio en quínoa Regalona Baer. Tranapunte, comuna de Carahue, diciembre de 2015.
Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)

Paralelamente, la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 tuvieron como pre cultivo una rotación intensiva de cereales. Este hecho contribuyó a que las producciones de grano mostraran una gran estabilidad en el tiempo. En cambio, con niveles iniciales de K disponible menores a $0,4 \text{ cmol+ kg}^{-1}$, es posible recomendar DOE de K_2O en un rango de 130 a 140 kg ha^{-1} .

Por otro lado, en Tranapunte el suelo andisol presentó niveles altos de K de intercambio en los ciclos 2015-2016 y 2017-2018 ($0,7 \text{ cmol+ kg}^{-1}$), y niveles medio a bajo en el ciclo 2016-2017. Este hecho significó que las DOE de K_2O (Cuadro 16), fueran bajas en el primero y último ciclo productivo, mientras que en el ciclo 2016-2017 la DOE de K_2O estimada fue superior.

En relación a los niveles productivos de quínoa en Tranapunte y a lo largo de tres ciclos productivos (Cuadro 16), tanto la quínoa Regalona Baer como el genotipo CQU 162 tuvieron distintos pre cultivos que, en conjunto con los niveles iniciales de K disponible, condicionaron fuertemente sus índices productivos. Así, en el ciclo 2015-2016, el pre cultivo fue un rastrojo de papa, que demandó una DOE de K_2O muy baja y con una producción altísima de grano que superó los 57 qqm ha^{-1} .

En el siguiente ciclo productivo (2016-2017), tuvo como pre cultivo un rastrojo de poroto para grano, lo cual contribuyó a incrementar la DOE de K_2O estimada, y una significativa disminución del rendimiento de grano.

Este fenómeno se profundizó durante el tercer ciclo productivo (2017-2018), donde el pre cultivo correspondió a una pradera naturalizada de tres años. En esta oportunidad, la DOE de K_2O se mantuvo alta, mientras el rendimiento siguió disminuyendo.

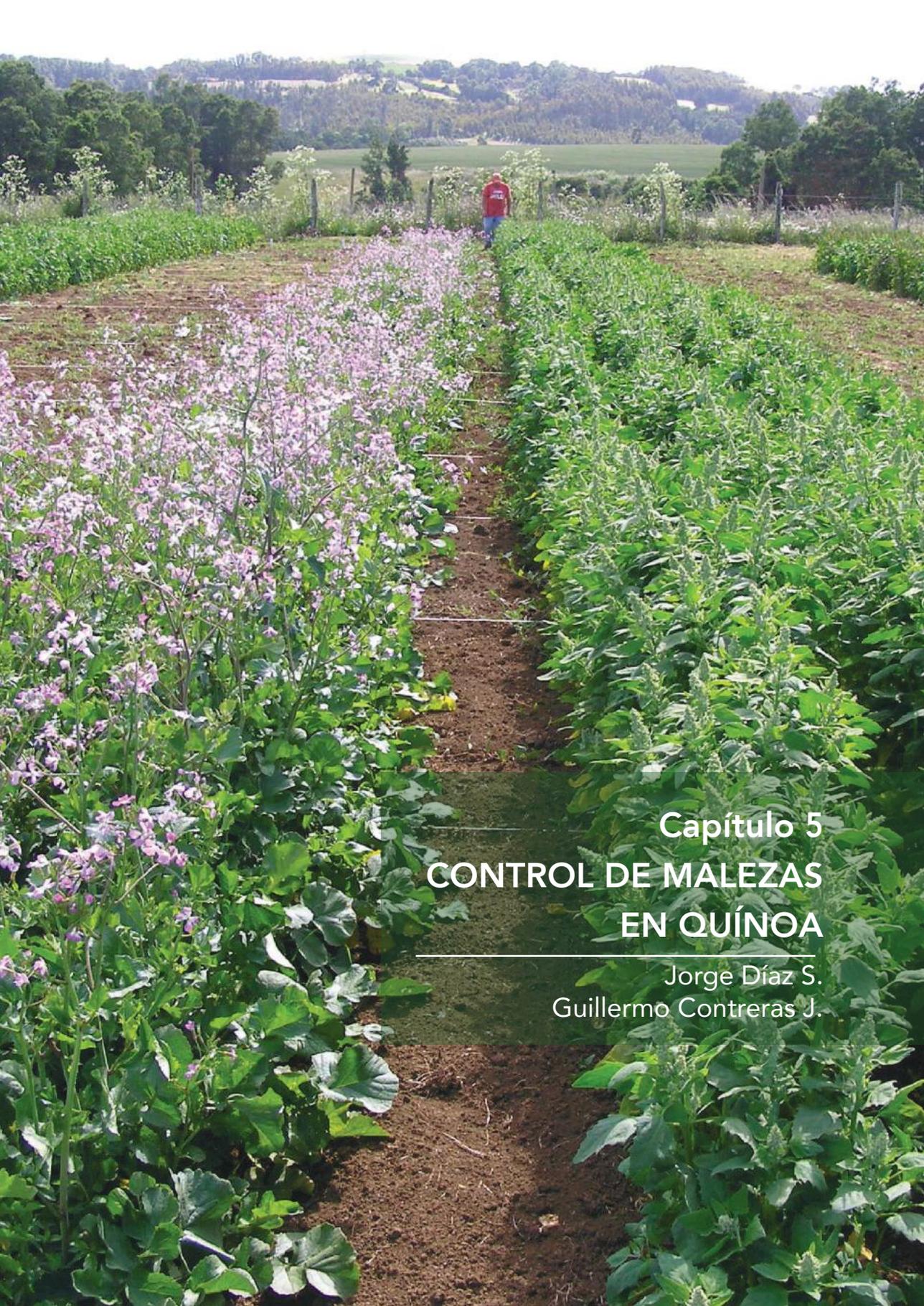
En relación a la EUK de quínoa, el cultivar Regalona Baer producido en Tranapunte (Cuadro 16), requirió menos $\text{kg de K}_2\text{O qqm}^{-1}$ de grano producido que el mismo

cultivar producido en INIA Carillanca, a excepción del ciclo productivo 2016-2017. Una situación parecida se constató con el genotipo CQU 162. Este fenómeno se explica fundamentalmente por la disponibilidad inicial de K, el pre cultivo utilizado y el potencial productivo existente en la zona de Tranapunte. Cuando el pre cultivo fue rastrojo de papa los rendimientos alcanzados por el cultivo de quínoa se elevaron considerablemente, en contraste con el pre cultivo de rastrojo de poroto para grano y de pradera naturalizada. Esta gran diversidad de situaciones que se manifestaron en Tranapunte, impide generalizar recomendaciones técnicas de DOE estimadas de K_2O . En este caso se recomienda utilizar la información explicitada en el cuadro 16.

En los ambientes productivos de INIA Carillanca y Tranapunte, las DOE estimadas de K_2O ($kg\ ha^{-1}$), dependieron del contenido inicial de K disponible en el suelo del pre cultivo existente. En general, suelos con valores superiores a $0,4\ cmol+ kg^{-1}$ (160 ppm de K disponible) tendrán una respuesta significativa baja a la fertilización potásica del cultivo de quínoa, cuya dimensión productiva dependerá también del pre cultivo.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, M. y S. von Rütte. 1990. Fertilización. En: Ch. Wahli (ed.) Quínoa hacia un cultivo comercial. Latireco S.A. Quito, Ecuador, p: 107- 116.
- Ávila, P. y J. Etchevers. 1988. Efecto de la profundidad de siembra y la fertilización N P K sobre la emergencia y producción de materia seca y composición química de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Agrociencia* 4(1):5-10.
- Baer, I. 1995. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y otras características agronómicas en Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la zona sur de Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile. 95p.
- Berti, M., R. Wilckens, F. Hevias, H. Serri, I. Vidal y C. Méndez. 2000. Fertilización nitrogenada en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ciencia e Investigación Agraria*, 27:81-90.
- Campillo, R. 2013. Fertilización del Cultivo de Trigo en el Borde Costero de La Araucanía, con énfasis en la Fertilización Nitrogenada. pp.:25-41. En Campillo, R. (ed). Producción de Trigo Harinero para el Borde Costero de La Araucanía. Boletín INIA N° 281, Diciembre 2013.
- Choquehuanca, A. 1988. Absorción de nutrientes por el cultivo de quínoa. VI Congreso Internacional sobre cultivos andinos. Quito, Ecuador, p: 37-41.
- Galwey, N. W. 1993. The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification; a review. *Industrial Crops and Products* 1:101-106.
- Jacobsen, S. E., I. Jorgensen and O. Stolen. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under temperate climatic conditions in Denmark. *J. Agric. Sci.* 122:47-52.
- Koziol, M. 1993. Quinoa: A potential New Oil Crop. En: J. Janick and J. E. Simon (eds). *New Crops*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA. pp: 328-336.
- Matus I., K. Ruf, y M. Pinto. 2015. Avances en el manejo agronómico del cultivo de quínoa en Chile. *Revista Tierra Adentro*, INIA, Chile, 108:48-51.
- Ranhotra, G. S., J. A. Gelroth, B. K. Glaser, K. J. Lorenz and D. J. Johnson. 1993. Composition and protein nutritional quality of quinoa. *Cereal Chem.* 70(3): 303-305.
- Rebolledo, H. 1999. Estimación de modelos de regresión a experimentos de fertilización y obtención de dosis óptimas económicas de insumos agrícolas. 55 p. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.
- Rodríguez, J. 1993. Manual de fertilización. 362 p. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Grez, M.L. Mora, H. Flores, y A. Reaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Serie Actas INIA N°34. 164 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile.
- Tapia, E.M. 1990. Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 205p.
- Volke, H.V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. 61 p. Colegio de Postgraduados, México D.F., México.
- Wahli, C. 1990. Quínoa: hacia su cultivo comercial. Latireco S.A. Quito, Ecuador.



Capítulo 5
**CONTROL DE MALEZAS
EN QUÍNOA**

Jorge Díaz S.
Guillermo Contreras J.

5.1 Introducción

Las malezas son un factor que limitan de manera importante el cultivo de quínoa, debido a que ocasionan pérdidas significativas de rendimiento al competir por factores esenciales para el crecimiento y desarrollo, como son nutrientes, luz y agua. La quínoa es un cultivo altamente sensible a la presencia de malezas con pérdidas de rendimiento que superan el 90 % (Aguerrea, 1998). Ensayos realizados por INIA Carillanca en el valle central y costa de La Araucanía, indican que las pérdidas productivas son del orden del 40% e incluso en situaciones de alta infestación pueden alcanzar al 100%. Adicionalmente, las malezas pueden ser fuente de enfermedades y plagas, dificultando o impidiendo el proceso de cosecha.

El lento crecimiento de la quínoa después de la germinación hace que el manejo de las malezas sea particularmente desafiante y que presente un amplio período crítico de interferencia con las malezas, que se inicia en la siembra y manteniéndose hasta la floración (Mujica et al., 2001). Otros autores (Gómez y Aguilar, 2016), destacan que el período de mayor sensibilidad está entre la etapa de desarrollo vegetativo y la de ramificación. Por lo anterior, se requiere intervenir con un control eficaz en varios momentos del desarrollo del cultivo y que se pueden extender por aproximadamente unos tres meses (Díaz et al., 2017).

Actualmente, en Chile y otros países productores de quínoa, el control de malezas se realiza casi exclusivamente de forma mecánica, para lo cual se recomienda una distancia de siembra igual o superior a 40 cm entre las hileras, para la realización apropiada de labores de escarda o para el paso de implementos mecánicos. Si esta labor es realizada de forma manual puede requerir extensas y laboriosas jornadas hombre, dependiendo del nivel de infestación, tipo de malezas presentes en el cultivo y condiciones climáticas.

Por otra parte, una de las principales limitantes para masificar y aumentar la superficie de cultivo de la quínoa en Chile es la falta de herbicidas selectivos, siendo muy escasos los estudios y con resultados contradictorios o no concluyentes. Todas estas situaciones han sido relevadas por parte de los productores, indicando que una de las principales necesidades es contar con una estrategia de control de malezas eficiente para el cultivo de la quínoa en el país (FIA, 2017).

5.2 Malezas asociadas al cultivo de la quínoa

Las principales malezas asociadas al cultivo de la quínoa en la Región de La Araucanía se presentan en el cuadro 1, donde todas corresponden a especies de hoja ancha, ciclo anual y de reproducción vía semilla, a excepción del vinagrillo (*Rumex acetosella*). Adicionalmente, pero de forma ocasional, aparecen malezas gramíneas como ballica y avenilla. Este listado fue obtenido de los ensayos realizados en el valle central (INIA Carillanca) y el secano costero (Tranapunte), durante tres temporadas agrícolas.

Cuadro 1. Principales malezas asociadas al cultivo de la quínoa en la Región de La Araucanía

Nombre común	Nombre científico	Ciclo y reproducción
Arvejilla	<i>Vicia</i> sp	Anual y semilla
Calabacillo	<i>Silene gallica</i>	Anual y semilla
Chinilla	<i>Leontodon saxatilis</i>	Anual y semilla
Duraznillo	<i>Polygonum persicaria</i>	Anual y semilla
Hierba de la culebra	<i>Fumaria</i> sp	Anual y semilla
Manzanillón	<i>Anthemis</i> sp	Anual y semilla
Mostacilla	<i>Sisymbrium officinale</i>	Anual y semilla
Porotillo	<i>Fallopia convolvulus</i>	Anual y semilla
Quinguilla	<i>Chenopodium</i> sp	Anual y semilla
Rábano	<i>Raphanus</i> sp	Anual y semilla
Sanguinaria	<i>Polygonum aviculare</i>	Anual y semilla
Siete Venas	<i>Plantago lanceolata</i>	Anual y semilla
Tomatillo	<i>Solanum nigrum</i>	Anual y semilla
Vinagrillo	<i>Rumex acetosella</i>	Perenne, semilla y rizomas
Violeta	<i>Viola arvensis</i>	Anual y semilla

Entre las especies anuales y de hoja ancha, se pueden destacar la quinguilla (*Chenopodium* sp) y rábano (*Raphanus* sp). La primera es considerada una de las de mayor importancia a nivel mundial, debido a la cantidad de cultivos que invade y por su amplia distribución geográfica. Es reconocida como una de las principales limitaciones para la expansión del cultivo de quínoa, ya que a menudo establece agresivas infestaciones dada sus similitudes en hábito de crecimiento y apariencia (Foto 1a). La quinguilla presenta una germinación que coincide con el comienzo de la primavera, y de ahí un acelerado desarrollo vegetativo, para iniciar durante noviembre la floración que se puede extender hasta fines del verano. La semilla puede permanecer viable en el suelo por varios años (Bassett y Crompton, 1978). Su presencia en la cosecha puede contaminar el grano de quínoa, quitándole valor y encareciendo el proceso de selección debido a la similitud en tamaño.

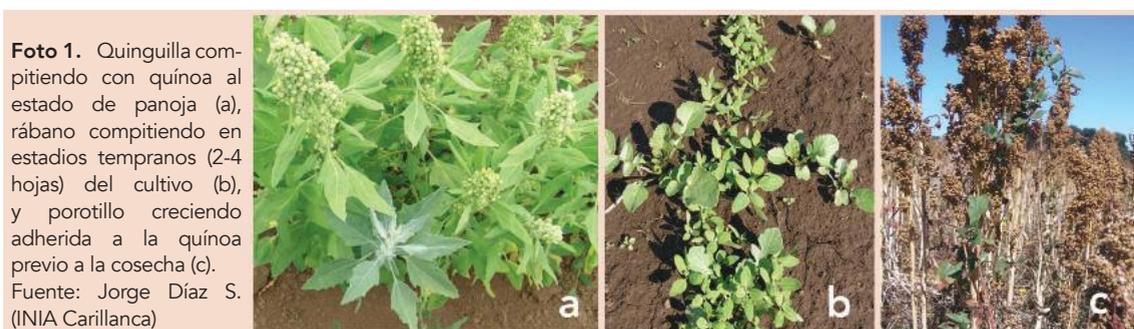


Foto 1. Quinguilla compitiendo con quínoa al estado de panoja (a), rábano compitiendo en estadios tempranos (2-4 hojas) del cultivo (b), y porotillo creciendo adherida a la quínoa previo a la cosecha (c). Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca)

El rábano es una maleza altamente competitiva para la quínoa (Foto 1b), presentándose en todo tipo de suelos y cultivos. Su amplia distribución geográfica se debe a que se diseminan contaminando semilla de cultivos, fardos de heno y residuos de cereales. La raíz profundizadora del rábano le permite soportar la sequía y proporciona suficientes reservas de alimento para el rebrote después de la pérdida de hojas a través del corte, el pastoreo o la actividad de algunos herbicidas. Presentan un banco de semillas persistente junto a un hábito de crecimiento anual competitivo (rápido crecimiento, gran altura y follaje denso) y elevada fecundidad, lo que contribuye y asegura un problema continuo (Warwick y Francis, 2005). También posee actividad alelopática, por lo que sus extractos y residuos pueden suprimir la germinación, emergencia y crecimiento de plántulas de algunos cultivos (Warwick y Francis, 2005). Finalmente, considerar que infestaciones tardías de algunas malezas, como por ejemplo porotillo (*Fallopia convolvulus*), entranan el proceso de cosecha, contaminan y dificultan la etapa de procesamiento del grano de quínoa (Foto 1c).

5.3. Métodos de control

Las opciones de control pueden ser diversas, desde convivir con el problema aceptando ciertos niveles de daño o utilizando métodos eficientes que redunden en altas producciones y maximizando los beneficios económicos.

5.3.1 Prevención: evitar que nuevas semillas o propágulos vegetativos se introduzcan al potrero o campo. Para esto es esencial la calidad de la semilla a sembrar. Utilizar semilla limpia y de buen poder germinativo, que originen plántulas vigorosas para lograr un rápido establecimiento y con una adecuada población. Por ejemplo, tener especial cuidado con semillas de malezas con un tamaño y forma parecida al grano de la quínoa como es el caso de la quinguilla (Foto 2). Los implementos de laboreo del suelo, sembradoras y cosechadoras, actúan como eficientes medios para propagar malezas, por lo que es esencial el uso de maquinaria limpia antes de su ingreso al campo.



Foto 2. Semilla de quinguilla (izquierda) y de quínoa (derecha).
Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca).

5.3.2 Control cultural: las prácticas agronómicas tienen un efecto directo sobre la presencia y desarrollo de las malezas. Es esencial adoptar medidas para agotar o disminuir el banco de semillas de las malezas en el suelo, promoviendo la germinación y controlando con labores de preparación de suelo.

La rotación de cultivos es también una práctica adecuada y conveniente, aportando diversidad al sistema. En general, cuanto más diferentes sean los cultivos a establecer en una rotación, ya sea por fechas de siembra y prácticas agronómicas, mejores son las oportunidades para atenuar la presión de malezas en el cultivo de la quínoa. En este sentido la experiencia recomienda que una opción adecuada es sembrar quínoa después de cereales (No comparten enfermedades ni plagas) y porque estos cultivos tienen más opciones de control de malezas. Después de papa no es recomendable porque compiten agresivamente y por la dificultad en el control de “papas voluntarias”. En lo posible evitar establecer quínoa después de una pradera degradada, por la cantidad de residuos que se genera, lo que dificulta la preparación de suelo y labores posteriores a la presencia de malezas perennes que pueden rebrotar y a un alto banco de semillas de malezas.

La distancia o espaciamento entre las hileras (Más adelante se presentan mayores antecedentes) o la densidad de las plantas, desempeñan un papel importante en el equilibrio competitivo entre las malezas y el cultivo. Por tanto, incrementando la densidad de cultivo también constituye otra medida adicional para disminuir la abundancia de malezas (Singh y Singh, 2006).

5.3.3 Control mecánico: las labores de preparación de suelo y de las condiciones en que se ejecutan, pueden tener efectos variables dependiendo del tipo de malezas presentes. En general, los arados de vertedera, disco y cincel eliminan efectivamente plántulas pequeñas y superficiales, lo que disminuye con malezas perennes bien establecidas, debido a los órganos de reserva subterráneos como rizomas, estolones y tubérculos. Labores secundarias, por ejemplo, realizadas con vibrocultivador, tienen un adecuado efecto solo en malezas anuales de poco desarrollo (García y Fernández, 1991).

En cuanto a las labores mecánicas de control entre las hileras de un cultivo, estas deben realizarse cuando la quínoa esté bien arraigada. Labores de escarda o “limpias” manuales pueden cumplir una importante misión para cultivos establecidos en línea con una distancia igual o superior a los 40 cm. Es muy probable que deban repetirse las labores de control en varias oportunidades (mínimo 2 a 3 veces) durante la temporada, y en donde la disponibilidad de mano de obra también puede ser una limitante para su ejecución oportuna. En el caso de labores manuales, se ha estimado que pueden requerirse entre 30 a 50 JH ha⁻¹ (1 JH = \$12.000), lo que implica un costo aproximado de \$360.000 a \$600.000 ha⁻¹ en Chile (US\$550 a US\$920 ha⁻¹).

Las limitaciones de este tipo de control están dadas por el potencial daño mecánico al cultivo de la quínoa por el paso de los implementos, por lo que solo se puede realizar hasta cierta etapa de desarrollo del cultivo.

5.3.4 Control químico: los herbicidas son una herramienta esencial e insustituible en el control de las malezas por su eficacia, rápida respuesta, fácil manejo, bajo costo y agrónomicamente flexibles al ser utilizados en diversas etapas de un cultivo.

Una de las primeras etapas en que se utilizan herbicidas, es en el barbecho químico como parte de la preparación de suelo. El barbecho químico corresponde a la aplicación de herbicida(s) que se ejecuta después de la cosecha y antes de la siembra del cultivo. Se realizan en terrenos con altas infestaciones de malezas, sobre todo del tipo perenne. Se utilizan herbicidas no selectivos, sistémicos y de amplio espectro como glifosato que puede ser mezclado en el estanque con otros herbicidas como fluroxipir, 2,4-D o MCPA para complementar el control de malezas de hoja ancha. Posterior a su aplicación se debe esperar al menos unas 3 a 4 semanas antes de iniciar las labores de preparación de suelo. Las labores mecánicas primarias y secundarias realizan un importante aporte de control sobre las malezas que puedan emerger durante esta etapa.

Otra alternativa es paraquat o paraquat+diquat, herbicidas de contacto y de amplio espectro, efectivos sobre malezas anuales con poco desarrollo. Presentan una rápida acción (Necrosando tejidos verdes), por lo que se requiere solo de algunos días entre su aplicación y preparación de suelo.

Con el cultivo establecido se pueden aplicar herbicidas de pre y post emergencia. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con herbicidas recomendados para la quínoa, y los escasos estudios existentes no son concluyentes e incluso contradictorios. Dada esta situación es que se realizó una serie de ensayos con herbicidas para determinar la selectividad o tolerancia de la quínoa. Entendiéndose como selectividad a la característica de los herbicidas que hace posible su aplicación para controlar malezas sin dañar al cultivo. La selectividad es el resultado de interacciones complejas entre la planta (Desarrollo, morfología), el herbicida (Método y momento de aplicación, mecanismo de acción) y el medio ambiente (Tipo de suelo, humedad del suelo, temperatura) (Radosevich et al., 2007).

5.3.5 Control integrado: la combinación de dos o más métodos de control mejora el manejo de las malezas en los sistemas productivos y es más amigable para el cuidado del medio ambiente (Naylor y Drummond, 2002). En este sentido, se realizaron ensayos que combinaron el método cultural (distancia entre las hileras), mecánico (labores de escarda entre las hileras) y herbicidas, para evaluar el control efectivo de malezas y la respuesta productiva de la quínoa.

5.4 Evaluación de métodos de control de malezas en el cultivo de la quínoa

5.4.1 Control mecánico: durante la temporada 2017-2018 en INIA Carillanca se estableció un ensayo con el objetivo de evaluar implementos manuales como rastra horquilla, azadón oscilatorio (Hosstools^{MR}) y combinaciones de éstos en tándem (Fotomontaje 1). La siembra del ensayo se realizó el 22/09 con quínoa Regalona Baer en dosis de 10 kg ha⁻¹ y 40 cm de distancia entre las hileras, en macro parcelas de 4 x 18 m (64 m²) por tratamiento evaluado. Los tratamientos se aplicaron en tres oportunidades, correspondientes a las fechas de 25/10, 10/11 y 27/11 de 2017, momento en que el cultivo se encontraba con un desarrollo de 4 hojas, 8-10 hojas e inicios de emisión de panoja, respectivamente. Las principales malezas presentes correspondieron a rábano, pasto pinito, calabacillo, sanguinaria, porotillo, yuyo y duraznillo.

IMPLEMENTOS	TÁNDEM	
T1: Rastra horquilla		Sin implemento
T2: Rastra horquilla + azadón oscilatorio		
T3: Azadón oscilatorio		Sin implemento
T4: Testigo limpio		
T5: Azadón oscilatorio + rastra horquilla		
T6: Azadón oscilatorio + azadón oscilatorio		
T7: Testigo enmalezado		

Fotomontaje 1. Esquema de los tratamientos según implementos y combinaciones evaluadas en el control mecánico de malezas. INIA Carillanca. Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca)

Los resultados de esta experiencia se presentan en el cuadro 2, correspondientes a población y biomasa total de malezas, con sus respectivos niveles de eficacia de control y rendimiento del cultivo. Se puede observar que todos los tratamientos disminuyeron de forma importante la población y biomasa de malezas.

Cuadro 2. Respuesta a tratamientos de control mecánico. Población y biomasa total de malezas, eficacia de control y rendimiento de la quínoa. INIA Carillanca

Tratamiento	Población (n° m ⁻²)	Control (%) [#]	Biomasa (g m ⁻²)	Control (%) ^{&}	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Rastra horquilla	62,7 c	85	870 b	54	1.570 c
Rastra horquilla + azadón oscilatorio	36,3 c	91	657,4 b	65	1.300 cd
Azadón oscilatorio	180 b	57	663,3 b	65	1.102 d
Testigo Limpio	0 c	100	0 c	100	2.840 a
Azadón oscilatorio + rastra horquilla	60,3 c	86	834,7 b	56	2.020 b
Azadón oscilatorio + azadón oscilatorio	33,7 c	92	512,4 b	73	2.520 a
Testigo enmalezado	416,0 a		1884,5 a	0	950 d
Nivel de Significancia	***		***		***
CV (%)	50,5		33,1		13,7

#: eficacia sobre la población de malezas

&: eficacia sobre la biomasa de malezas

(***): nivel de significancia $p < 0,001$

Para la población de malezas los niveles de eficacia de control fueron de 85% y superiores, con la única excepción del implemento azadón oscilatorio (T3). En el caso de la biomasa de malezas, los niveles de control fueron inferiores a los obtenidos sobre la población de malezas, con variaciones entre 54% (T1) a 73% (T6). Esta menor respuesta de control sobre la biomasa de malezas se debió a que malezas como rábano y yuyo escaparon al paso de los implementos al ubicarse sobre las hileras del cultivo. Sin embargo, el cultivo respondió con rendimientos significativamente superiores al testigo enmalezado en los tratamientos rastra horquilla (T1) y azadón con rastra en tándem (T5). Sin duda, de todos los tratamientos evaluados destacó el azadón en tándem (T6) al alcanzar un rendimiento similar al testigo limpio.

Al momento de realizar el paso de los implementos se observó que la rastra de horquilla no tenía una buena capacidad para desarraigar las malezas del suelo, particularmente rábanos y yuyos con varias hojas y una raíz profundizadora en desarrollo. Además, con el suelo húmedo el control disminuye (Ross y Lembi, 1999), ya que las malezas desarraigadas pueden volver a unirse al suelo y retomar su crecimiento. Por otra parte, si bien el azadón oscilatorio eliminó las malezas mediante un corte (Separando parte aérea de la raíz), el

mecanismo de corte rápidamente se satura con suelo y restos de las malezas cortadas, requiriendo una constante limpieza ralentizando el trabajo del implemento. Es sabido que el control mecánico es más efectivo en suelo seco porque las malezas a menudo mueren por desecación, los implementos trabajan mejor y se opera de forma más rápida. Además, cuando el suelo está demasiado húmedo se puede dañar su estructura y posiblemente contribuir a la propagación de malezas (Cloutier y Leblanc, 2001).

Los resultados del ensayo sugieren que las labores mecánicas realizadas entre las hileras pueden proporcionar y contribuir a un control efectivo de malezas para el cultivo de la quínoa. Estos resultados son consistentes a los de Jacobsen *et al.* (2010), quienes obtuvieron adecuados resultados de control mecánico en quínoa durante dos años en las condiciones de Dinamarca. Sin embargo, la eficacia de este método va a depender de los implementos utilizados, tipo y desarrollo de malezas presentes, condiciones del suelo (Humedad, presencia de terrones y residuos), desarrollo del cultivo y costos económicos asociados.

5.4.2 Tolerancia y eficacia de control de herbicidas: para definir los tratamientos a evaluar se consideró información existente (Cuadro 3) y herbicidas registrados en cultivos emparentados botánicamente a la quínoa (Cuadro 4). Adicionalmente, se incorporaron herbicidas que no controlan quinguilla, maleza botánicamente muy próxima a la quínoa, como triasulfuron, triflursulfuron, halosulfuron, metsulfuron (familia química de las sulfonilureas) y flucarbazone (familia química de las sulfonilaminocarboniltriazolinonas), todos inhibidores de la enzima ALS. No se evaluaron herbicidas que controlan específicamente malezas gramíneas, o comúnmente llamados graminicidas, debido a su especificidad en inhibir la enzima ACCasa, que en especies dicotiledóneas es insensible a estos herbicidas (Reade y Cobb, 2002). Esto explicaría la tolerancia de la quínoa a este tipo de herbicidas.

Cuadro 3. Antecedentes de herbicidas pre y postemergentes evaluados en el cultivo de la quínoa

Autor	Herbicidas promisorios
Alvarez (1990); Aguerrea (1998)	Alacloro (pre), propizamida (pre), metsulfuron (post), quizalofop (post) y fluazifop (post).
Westra (1988); Galwey (1989); (Risi & Galwey, 1989).	Metamitron (pre), propizamida (pre y post), metabenzthiazuron (pre) y alacloro (pre y post).

Entre paréntesis indica momento de aplicación (preemergencia) y (postemergencia)

Cuadro 4. Herbicidas utilizados y registrados para cultivos de la familia Chenopodiacea como remolacha, acelga, betarraga y espinaca

Cultivo	Herbicidas
Remolacha	Propizamida, triflusaluron, metamiltron, metolacoloro, fenmedifam/desmedifam/etofumesato, lenacilo, cloridazona, clopiralid, amitrol, etofumesato
Acelga y Betarraga	metamiltron, fenmedifam/desmedifam/etofumesato, cloridazona
Espinaca	metamiltron, fenmedifam/desmedifam/etofumesato, cloridazona, oxifluorfen, pendimetalina

(Fuente: SAG, 2016)

Las evaluaciones comenzaron a realizarse en la temporada 2014-2015 mediante un ensayo exploratorio con los herbicidas metamiltron (Pre y postemergencia), propizamida (Postemergencia) y la secuencia de metamiltron (Pre) seguido de propizamida (Post). De este "screening", donde solo se realizaron observaciones visuales de síntomas, se pudo descartar al herbicida metamiltron aplicado en postemergencia debido al alto daño causado a la quínoa.

En los cuadros 5, 6 y 7 se indican los herbicidas evaluados durante las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, con un total de 10, 19 y 20 tratamientos, respectivamente. Estos se aplicaron en preemergencia, postemergencia y secuencias pre y postemergencia al cultivo. Las aplicaciones de postemergencia se realizaron con la quínoa siempre al estado vegetativo (Entre 4 a 8 hojas). La aplicación en banda de metamiltron es entre las hileras y dirigida al suelo, sin contactar al cultivo (Foto 3).

CUADRO 5. Tratamientos herbicidas evaluados (10) en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte). Temporada 2015-2016

Herbicidas	Dosis (g ha ⁻¹)	Momento aplicación
Metamiltron	1.750	Preemergencia
Propizamida	500	Postemergencia
Metamiltron - Propizamida	1.750 - 500	Pre - Post
Metsulfuron metil	4,8	Post
Metamiltron -Metsulfuron	1.750 - 4,8	Pre - Post
Triasulfuron	7,5	Post
Metamiltron – Triasulfuron	1.750 – 7,5	Pre - Post
Flucarbazono	17,5	Post
Flucarbazono	35	Post
Flucarbazono	70	Post

Cuadro 6. Tratamientos herbicidas evaluados (19) en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte). Temporada 2016-2017

Herbicidas	Dosis (g ha ⁻¹)	Momento aplicación
Metamitron	3.500	Preemergencia
Metamitron	7.000	Pre
Metamitron - Metamitron	3.500 - 1.750	Pre - Dirigido entre hileras
Metamitron	1.750	Dirigido entre hileras
Metamitron - Triasulfuron	3.500 - 7,5	Pre - Post
Metamitron - Triasulfuron	7.000 - 7,5	Pre - Post
Triasulfuron	7,5	Post
Triasulfuron	33,75	Pre
Pendimetalin	1.800	Pre
Clomazone	144	Pre
Prosulfocard	4.000	Pre
Prosulfocard / Metolacloro	2.800 / 420	Pre
Propisoclor	1.440	Pre
Metazaclor	1.000	Pre
Rimsulfuron	25	Pre
Rimsulfuron	25	Post
Halosulfuron	75	Post
Triflusaluron	22,5	Post
Fenmedifan/desmedifan/etofumesato	187,5/62,5/377,5	Post



Foto 3. Aplicación de herbicida metamitron entre las hileras del cultivo de la quínoa (40 cm), con pantalla y dirigido al suelo.
Fuente: Jorge Díaz S.
(INIA Carillanca)

Cuadro 7. Tratamientos herbicidas evaluados (20) en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte). Temporada 2017-2018

Herbicidas	Dosis (g ha ⁻¹)	Momento aplicación
Metamitron	3.500	Preemergencia
Metamitron	5.250	Pre
Metamitron - Metamitron	3.500 – 1.750	Pre – Dirigido entre hileras
Metamitron	1.750	Dirigido entre hileras
Prosulfocarb	2.000	Pre
Prosulfocarb	4.000	Pre
Prosulfocarb / Metolacloro	1.400 / 210	Pre
Prosulfocarb / Metolacloro	2.800 / 420	Pre
Flumioxazin	15,5	Pre
Flumioxazin	25	Pre
Flumioxazin	50	Pre
Rimsulfuron	25	Pre
Clomazone	72	Pre
Clomazone	144	Pre
Flufenacet/flurtamona/diflufenican	24 / 24 / 24	Pre
Flufenacet/flurtamona/diflufenican	48 / 48 / 48	Pre
Flufenacet/flurtamona/diflufenican	96 / 96 / 96	Pre
Triasulfuron	7,5	Post
Metsulfuron	4,8	Post
Triflusalufuron	22,5	Post

Los resultados logrados en la temporada 2015-2016 indicaron como selectivos los tratamientos con metamitron en preemergencia y propizamida de postemergencia, al no causar síntomas visibles de fitotoxicidad, no disminuir la población y altura de plantas de quínoa y presentaron rendimientos similares al testigo sin herbicida (Figura 2). Mientras que los herbicidas de postemergencia como metsulfuron y triflusalufuron mostraron niveles intermedios de daño y se descartó el herbicida flucarbazone por su alta fitotoxicidad al causar muerte de plantas (datos no presentados).

En la temporada 2016-2017 de los 19 tratamientos evaluados, solamente los herbicidas metamitron (Figura 3) y triflusalufuron (Figura 4) fueron selectivos o tolerados por la variedad Regalona Baer y el genotipo CQU 162. Los tratamientos con estos herbicidas no presentaron síntomas visuales de fitotoxicidad, no declinó la población y no disminuyó la altura de las plantas, y se alcanzaron rendimientos significativamente similares al testigo sin herbicida.

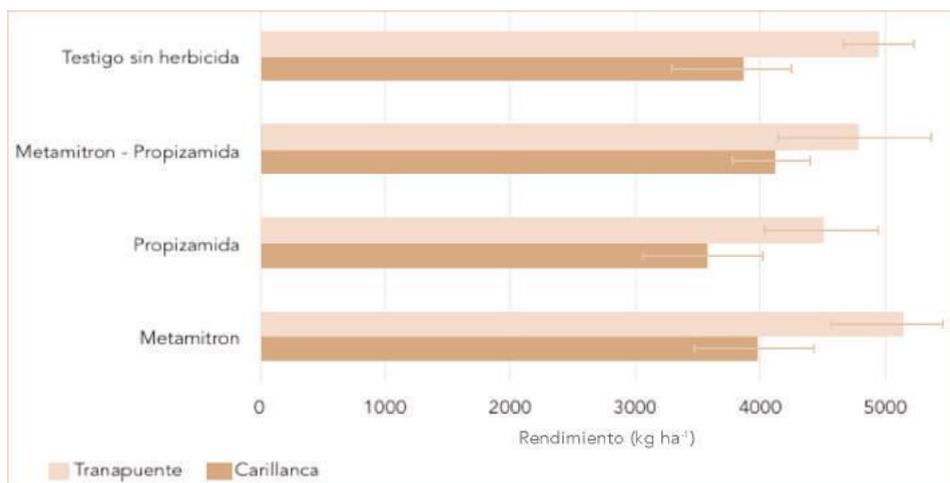


Figura 2. Rendimiento (kg ha⁻¹) de tratamientos herbicidas con metamitron de preemergencia y propizamida de postemergencia. Temporada 2015-2016

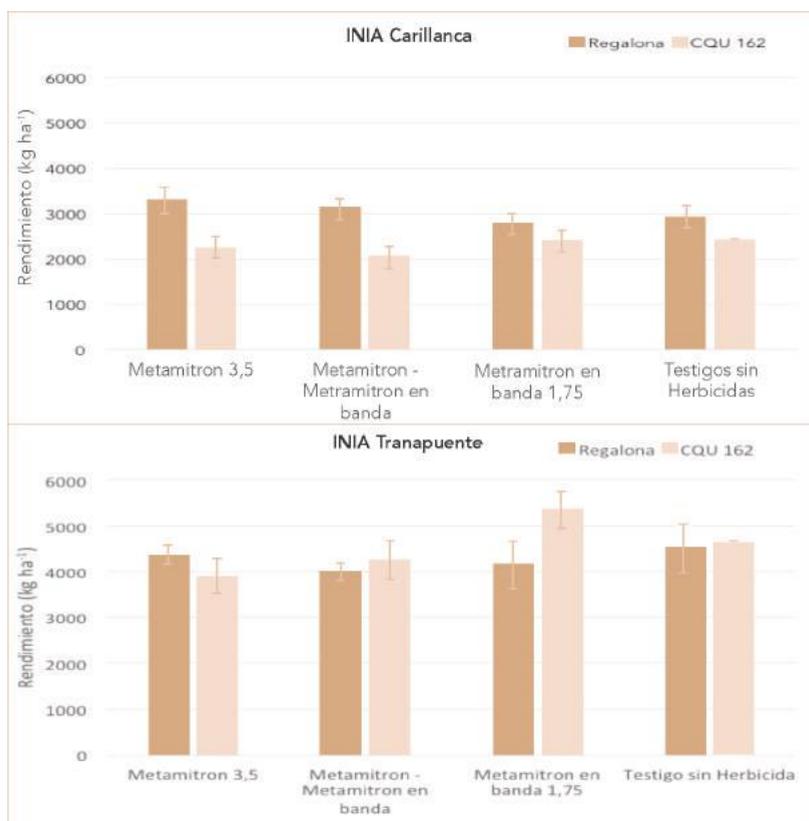


Figura 3. Rendimiento (kg ha⁻¹) de quínoa Regalona Baer y CQU 162 con metamitron de preemergencia y aplicado en banda entre las hileras del cultivo. INIA Carillanca y Tranapunte. Temporada 2016-2017



Figura 4. Rendimiento (kg ha^{-1}) de quinoa Regalona Baer y CQU 162 como respuesta a tratamientos herbicida con triflurothion de postemergencia. Temporada 2016-2017

Por otra parte, por los altos niveles de fitotoxicidad y daño que comprometieron la población, altura y rendimiento de la quinoa, se descartaron los herbicidas triasulfuron, pendimetalin, clomazone, prosulfocarb, prosulfocarb/metolacloro, propisoclor y metazaclor aplicados de preemergencia, junto con rimsulfuron, halosulfuron y fenmedifan/desmedifan/etofumesato aplicados de postemergencia (datos no presentados).

En la temporada 2017-2018, de los 20 tratamientos evaluados el herbicida metamitron aplicado en preemergencia, al momento de la siembra y entre las hileras del cultivo (Figura 5) en Regalona Baer y genotipo CQU 162, y triflurothion en postemergencia a Regalona Baer (Figura 6), mantuvieron su comportamiento selectivo en ambas localidades. En el caso del herbicida triflurothion se aplicó en dos condiciones ambientales contrastantes, una a medio día con una temperatura ambiental de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la segunda hacia el atardecer con $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. En ambas situaciones el herbicida provocó una leve clorosis, por un período de dos semanas, pero que no se tradujo en una disminución del rendimiento (Figura 6).

En conclusión, la quinoa toleró adecuadamente durante tres temporadas los tratamientos con metamitron de preemergencia en dosis de 1.250 a 3.500 g ha^{-1} y, durante dos temporadas a triflurothion en postemergencia a la dosis única de $22,5\text{ g ha}^{-1}$. Probablemente, el herbicida triflurothion pueda convertirse en una eficiente estrategia de control que reemplace al herbicida metamitron y a labores mecánicas entre las hileras, pero que deberá ser evaluado en futuros ensayos de eficacia de control en las principales malezas que invaden el cultivo.

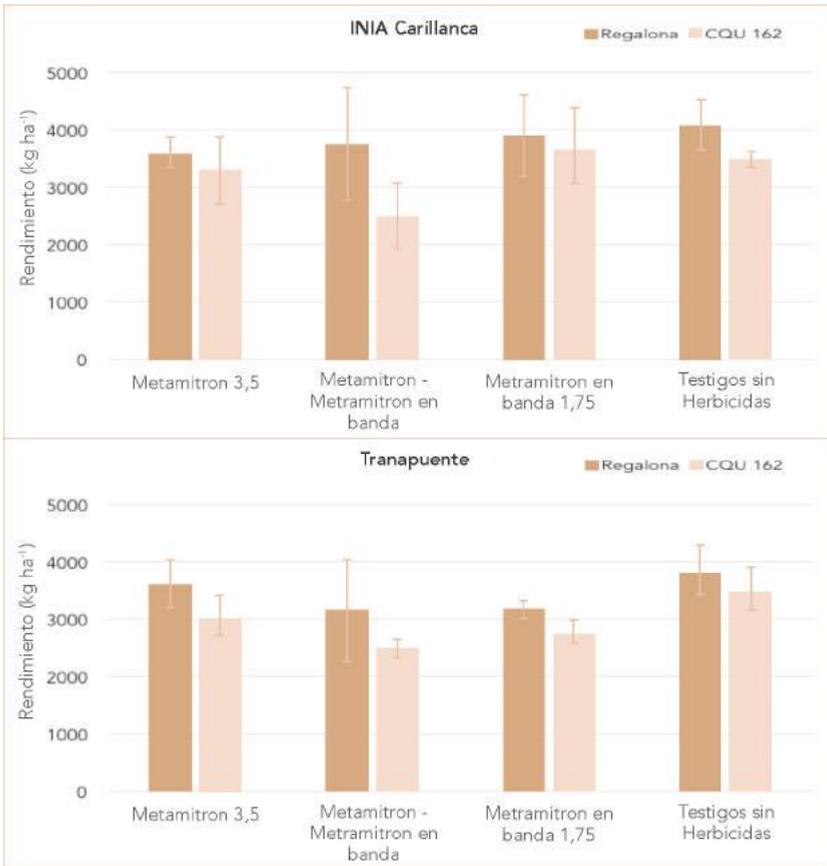


Figura 5. Rendimiento (kg ha⁻¹) de quinoa Regalona Baer y CQU 162 como respuesta a tratamientos herbicidas con metamitron de preemergencia y en banda entre las hileras del cultivo. Temporada 2017-2018

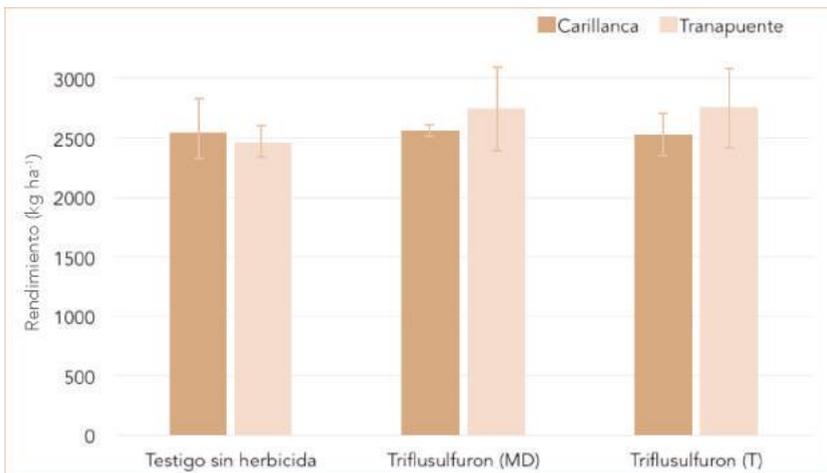


Figura 6. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quinoa Regalona Baer como respuesta al herbicida triflusaluron de postemergencia aplicado a medio día (MD) y en la tarde (T). Temporada 2017-2018

5.4.3 Control integrado (distancia entre hileras, herbicidas y labores mecánicas):

durante tres temporadas se realizaron ensayos con el cultivo establecido a las distancias de 20 y 40 cm entre las hileras, utilizando siempre una única dosis de 10 kg ha⁻¹ de semilla de quínoa. Es sabido que el aumento de la densidad del cultivo, ya sea por medio de dosis mayores de siembra o bien disminuyendo la distancia entre las hileras del cultivo, es siempre una práctica recomendada para el control de malezas. Las hileras más próximas y/o un mayor número de plantas por unidad de superficie permiten una cobertura más rápida del suelo, lo que reduce la germinación y competencia de las malezas con el cultivo (García, 1997).

Los resultados de la primera temporada indicaron que metamitron de preemergencia y metamitron de preemergencia con propizamida de postemergencia, presentaron eficacias de control en torno a un 50%, con una leve ventaja para la distancia de 40 cm. Esto bajos niveles de control, se debió a que los herbicidas no redujeron la población y biomasa de las principales malezas presentes como rábano, quinguilla y verónica (Cuadro 8).

Cuadro 8. Niveles de control (%) sobre la biomasa y población de malezas en quínoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos herbicidas.
INIA Carillanca 2015-2016

Tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹)	Población malezas (%) 1		Biomasa malezas (%) 2	
		20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Testigo Enmalezado		0,0	0,0	0,0	0,0
Metamitron (Pre)	1,75	29,8	49,1	56,1	67,7
Propizamida (Post)	0,5	0,0	0,0	4,8	8,8
Metamitron (Pre) - Propizamida (Post)	1,75 - 0,5	50,8	53,4	57,8	51,7
Testigo sin Malezas		100,0	100,0	100,0	100,0

1: Control sobre la población total de malezas.

2: Control sobre la biomasa total de malezas.

Consecuentemente, el rendimiento de la quínoa también respondió al factor distancia entre las hileras y en donde 40 cm superó a la de 20 cm en 770 kg ha⁻¹ (Figura 7).

Dada la escasa eficacia de control y respuesta productiva de los tratamientos evaluados, a la siguiente temporada, 2016-2017 se estableció un ensayo en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte), evaluando al herbicida metamitron en preemergencia en dosis de 1,75 y 3,5 kg ha⁻¹, metamitron complementado con un control mecánico (una labor) y solo control mecánico (dos labores), más los respectivos testigos (con y sin malezas). El control mecánico consistió en el uso de un implemento manual entre las hileras del cultivo que simuló la acción de un cincel trabajando superficialmente (5 a 10 cm de profundidad).

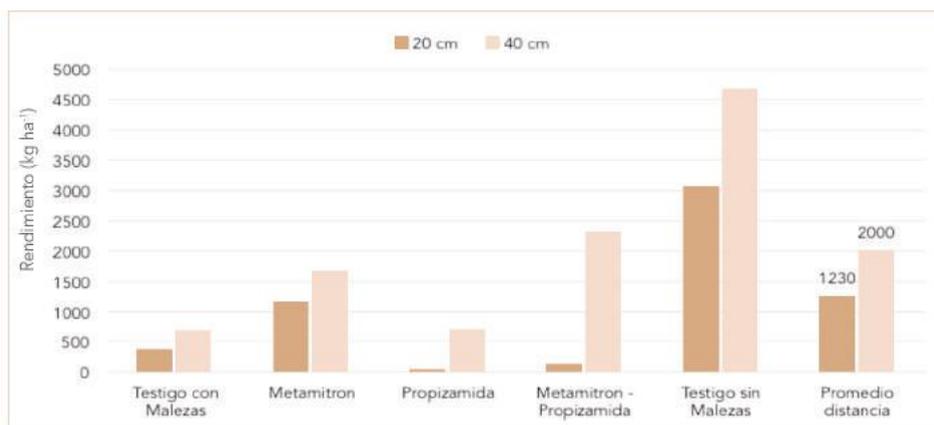


Figura 7. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quínoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos herbicidas. INIA Carillanca 2015-2016

Los resultados indicaron que el tratamiento de metamitron complementado posteriormente con una labor mecánica entre las hileras del cultivo, alcanzó los mayores niveles de control en ambas localidades y destacando la distancia de 40 cm entre las hileras, particularmente en Tranapunte (Figura 8). Las diferencias de eficacia de control entre las localidades se debieron a que en Tranapunte las malezas fueron de una mayor agresividad por los altos niveles poblacionales y de biomasa (datos no presentados), alcanzado por las principales malezas como rábano, hierba de la culebra y sanguinaria, respecto al sitio de INIA Carillanca. En ambas situaciones el herbicida metamitron presentó un buen control en sanguinaria, pasto pinito, calabacillo y quilloiquillo, control mediano en porotillo, duraznillo, manzanillón, hierba de la culebra y un escaso a nulo control en rábano, siete venas, chinilla y quinguilla.

La interferencia de las malezas provocó pérdidas productivas para el promedio de las distancias entre hileras, de 1.170 kg ha⁻¹ (35%) en INIA Carillanca y 2.015 kg ha⁻¹ (41%) en Tranapunte (Figura 9).

En INIA Carillanca destacó el tratamiento de metamitron (en dosis de 3,5 kg ha⁻¹) al incrementar el rendimiento en 1.000 y 300 kg ha⁻¹ para la distancia de 20 y 40 cm, respectivamente (Figura 9). Si bien este herbicida complementando con labores mecánicas logró los mejores niveles de control, pero que no se expresó en un rendimiento destacado respecto de otros tratamientos, sugiere un posible daño mecánico al cultivo que no fue percibido durante y después de realizada la labor.

Para la localidad de Tranapunte todos los tratamientos aumentaron de forma importante el rendimiento del cultivo en la distancia de 40 cm por sobre el de 20 cm, destacando metamitron - labor mecánica y el control mecánico (Figura 9).

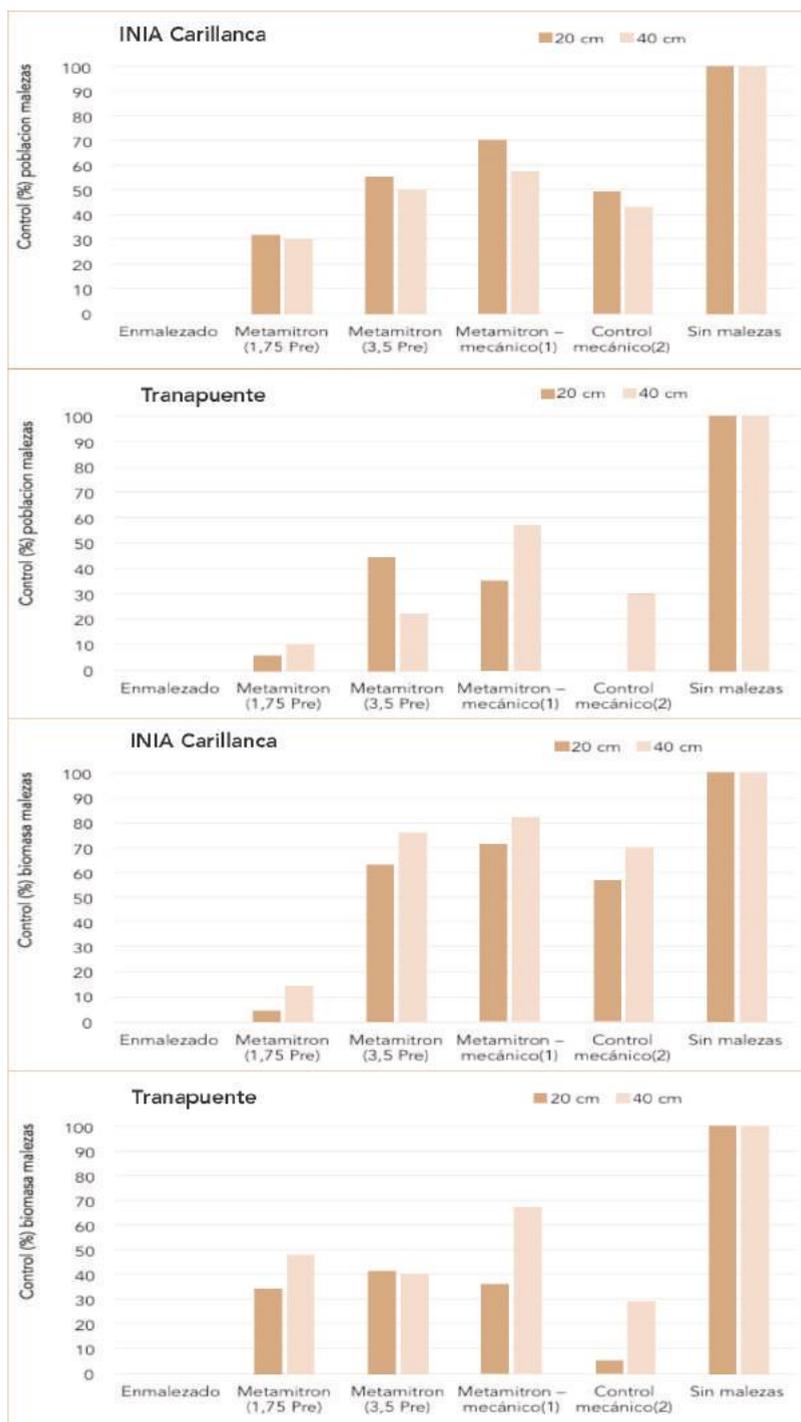


Figura 8. Niveles de control (%) sobre la población y biomasa de malezas según distancia entre las hileras (20 y 40 cm) y tratamientos de control de malezas. INIA Carillanca y Tranapunte, 2016-2017

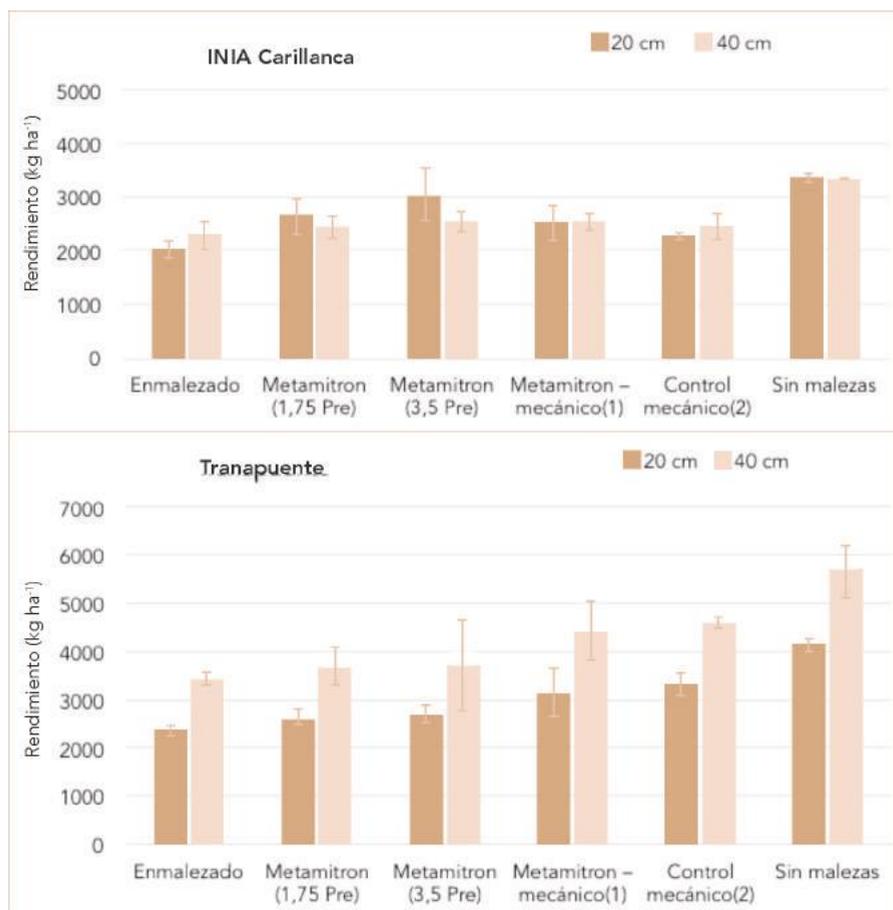


Figura 9. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quinoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos de control. INIA Carillanca y Tranapunte, 2016-2017

A la siguiente temporada, 2017-2018, los tratamientos evaluados en la localidad de INIA Carillanca presentaron adecuados niveles de control. Se puede destacar a metamitron de preemergencia más una segunda aplicación del herbicida entre las hileras y posteriormente complementado con control mecánico. Este tratamiento ejerció niveles de control superiores a un 70% sobre la población y biomasa total de malezas (Cuadro 9).

Si bien no se presentan los resultados por especie de malezas, puede concluirse que el herbicida metamitron aplicado en preemergencia en sus mayores dosis, demostró durante tres temporadas y dos localidades un buen control en malezas como sanguinaria, pasto pinito, calabacillo y quilloi-quilloi, y mediano en porotillo, duraznillo, manzanillón y hierba de la culebra. Siendo su mayor debilidad las malezas quinguilla, rábano y yuyo; especies que pueden constituirse en serios problemas y plantear futuros desafíos para el cultivo.

Cuadro 9. Niveles de control (%) sobre la biomasa y población de malezas en quínoa establecida a 20 y 40 cm de distancia entre las hileras. INIA Carillanca 2017 – 2018

Tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹) y labores	Población malezas (%) 1		Biomasa malezas (%) 2	
		20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Testigo Enmalezado		0,0	0,0	0,0	0,0
Metamitron	3,5	76,4	82,0	50,1	76,0
Metamitron - Metamitron (dirigida)	3,5 - 1,75	84,5	80,0	69,7	85,0
Metamitron - Control Mecánico	3,5 - 2 labores	16,2	90,0	37,4	90,0
Metamitron - Metamitron (dirigida) - C. Mec.	3,5 - 1,75 - 1 labor	91,2	89,0	72,0	89,2
Control Mecánico	3 labores	53,1	78,0	41,3	78,0
Testigo sin malezas		100,0	100,0	100,0	100,0

1: Control sobre la población total de malezas

2: Control sobre la biomasa total de malezas

En esta temporada también respondieron con mayores rendimientos los tratamientos aplicados a la distancia de 40 cm versus 20 cm, superando en más de 400 kg ha⁻¹ de rendimiento promedio (Figura 10). Además, el tratamiento que destacó por su mayor control de las malezas (metamitron en preemergencia - metamitron entre las hileras - control mecánico), alcanzó rendimientos cercanos a los 3.500 y 4.000 kg ha⁻¹ para la distancia de 20 y 40 cm, respectivamente (Figura 10).

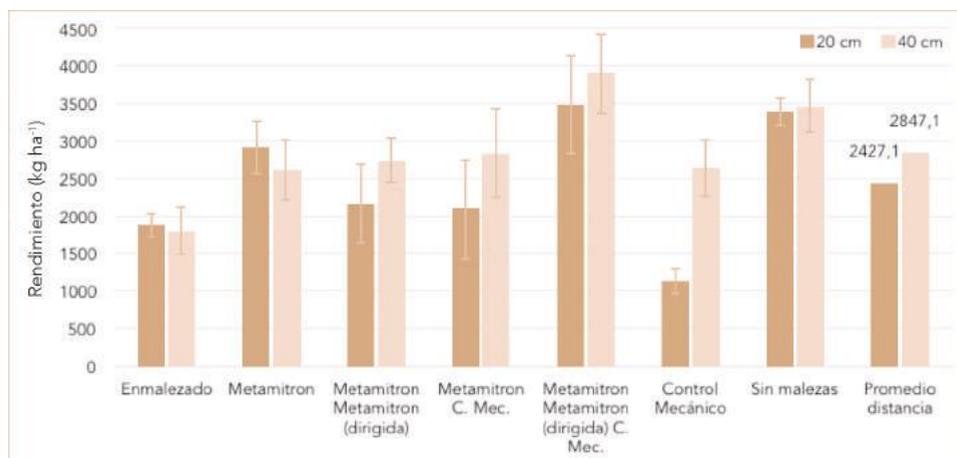


Figura 10. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quínoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos de control. INIA Carillanca, 2017-2018

La mayoría de los estudios confirman que, al disminuir el espacio entre las hileras de siembra del cultivo, responden incrementando el rendimiento. Esto se atribuye a una disposición más equidistante de las plantas, logrando así un mejor uso de los recursos agua, nutrientes y luz. Junto a lo anterior, se ha encontrado que espaciamentos más estrechos pueden tener un impacto significativo en reducir las poblaciones de malezas (Bradley, 2006). La efectividad de reducir el espacio de las hileras sobre el control de malezas depende de varios factores, incluidas las restricciones de agua, nutrientes, proporción de altura entre cultivo y malezas, y momento de la emergencia de malezas (Nichols *et al.*, 2015).

En consecuencia, disminuir la distancia entre las hileras desde 40 a 20 cm no se logra un mejoramiento importante en el control de las malezas y en la productividad del cultivo. Esto se debería a que en la distancia mayor entre las hileras del cultivo, las labores de aplicación de herbicida y el empleo de implementos se pueden realizar de una manera más efectiva y con un menor daño mecánico al cultivo. A lo anterior, se suma la conocida plasticidad que tiene la quínoa para autorregular y compensar variaciones en su población de plantas de manera independiente a la distancia y dosis de siembra (Capítulo 3), y también a una menor predisposición a la enfermedad endémica del mildiú (*Peronospora variabilis*) con densidades bajas de plantas. Dichas características, que se complementan a las medidas de control, permitirían una mejor defensa frente a las malezas cuando el cultivo se establece a una distancia de 40 cm entre las hileras.

5.5 Conclusiones

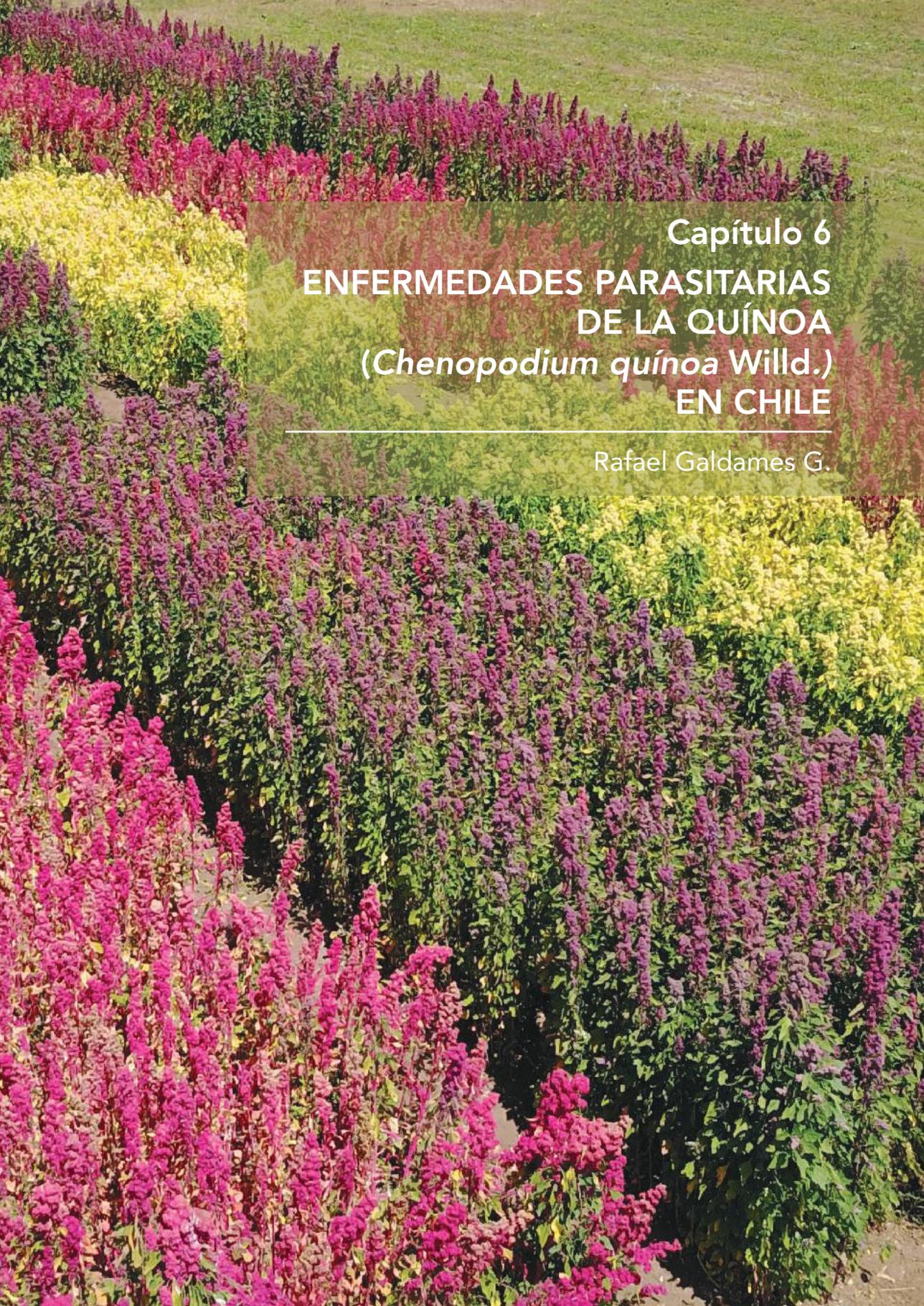
Para una eficiente estrategia de control de malezas en el cultivo de quínoa, se debe iniciar considerando una adecuada rotación de cultivos (después de algún cereal), una eficiente preparación de suelo partiendo con barbecho químico y labores mecánicas, a fin de obtener una adecuada cama de semilla. Al momento de la siembra se puede utilizar el herbicida metamitron en preemergencia, el que, según las condiciones ambientales, suelo y tipo de malezas, presenta una persistencia de unos 40 a 50 días. Posteriormente, se puede intervenir con labores mecánicas o realizar una aplicación de herbicidas postemergentes selectivos como propizamida o triflusal. Finalmente, es importante destacar que, a la luz de los resultados obtenidos con los herbicidas selectivos, es que las empresas de productos fitosanitarios consideren estos antecedentes a fin de promover los registros necesarios ante el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), para su uso en el cultivo de la quínoa.

Referencias Bibliográficas

- Aguerrea, A. 1998. Control químico de malezas en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción. Fac. Agronomía. 31 p.
- Álvarez, M. 1990. Capítulo III: Herbicidas. Quinoa hacia su cultivo comercial. Latrinco S.A. Quito. Ecuador. 205p.
- Bassett I. J. y Crompton, C. W. 1978. The Biology of Canadian Weeds. 32. *Chenopodium album* L. Canadian Journal Plant Sci. 58: 1061-1072.
- Blackshaw, R.E., L.J. Molnar, H.-H. Muendel, G. Saindon and X. Li. 2000. Integration of cropping practices and herbicides improves weed management in dry bean (*Phaseolus vulgaris*). Weed Technol. 14: 327-336.
- Bradley, K. W. 2006. A Review of the Effects of Row Spacing on Weed Management in Corn and Soybean. Online. Crop Management doi:10.1094/CM-2006-0227-02-RV.
- Cloutier, D. and Leblanc, M.L. 2001. Mechanical weed control in agriculture. In: Vincent, C., Panneton, B. and Fleurat-Lessard, F. (eds) Physical Control in Plant Protection. Springer-Verlag, Berlin, Germany, and INRA, Paris, France, pp. 191–204.
- Díaz, J., Contreras, G. y Morales, A. 2017. Tolerancia y eficacia de control de herbicidas en el cultivo de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Resúmenes de Exposiciones VI Congreso Mundial de la Quínoa, III Simposio Internacional de Granos Andinos. 21-24 de marzo, Puno, Perú. pag: 63.
- Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2017. Serie estudios para la innovación FIA. Potencial competitivo de la quinua chilena. 152 p.
- Galwey, N. 1989. Exploited plants. Quinoa. Biologist, 36: 267-274.
- García T., L. 1997. Control de malas hierbas en el laboreo de conservación. En: Agricultura de Conservación. Fundamentos Agronómicos, medioambientales y económicos. L. García y P. González (eds.). Asociación Española Laboreo de Conservación. Córdoba, España.
- Gómez, L. y Aguilar, E. 2016. Guía de cultivo de la quinua. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú
- Jacobsen, S-E.; Christiansen, J. and Rasmussen, J. 2010. Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Outlook on agriculture 39(3):223-227.
- Johnson DL, Ward S. Quinoa. In: Janick J, Simon JE, editors. Newcrops. New York, NY:Wiley; 1993. P 219–221.
- Mujica, A., Canahua, A. y Saravia, R. 2001. Capítulo II. Agronomía del cultivo de la quínoa. In: Mujica A., Jacobsen S.E., Izquierdo J, Marathe J.P., editors. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago de Chile: FAO, UNA, Puno. pp. 20–48.

- Naylor, R. y Drummond, C. 2002. Chapter 14. Integrated weed management. Pp: 302-310. In: Weed Management Handbook (Ed. R. Naylor). 9° Edition.
- Nichols V, Verhulst N, Cox R, Govaerts B (2015) Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research* 183:56-68.
- Radosevich, S.R.; Holt, J. and Ghersa, C. 2007. Ecology of weeds and Invasive plants. 3 Edition. 454 pag.
- Reade, J. P. H y Cobb, A.H. 2002. Chapter 8. Herbicides: Modes of action and metabolism. Pp: 134-170. In: Weed Management Handbook (Ed. R. Naylor). 9° Edition.
- Risi, J.C. and Galwey, N. W. 1991. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *Journal Agr Sci* 117(03):32.
- Risi, J. C. and Galwey, N. W. 1989. The Chenopodium grains of the Andes; Inca crops for modern agriculture. *Adv. Applied Biology*, v 10:145-216.
- Ross, M. A. and Lembi, C. A. 1999. Applied Weed Science. 2 Edition.
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 2016. Lista de Plaguicidas con autorización vigente. <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes>. Accesado en julio 2016.
- Singh, R. P. and Singh, R. K. 2006. Ecological approaches in weed management. National symposium on conservation Agriculture and Environment, October 26-28, BHU Varanasi. pp. 301-304
- Warwick, S. y Francis, A. 2005. The biology of Canadian weeds. 132. *Raphanus raphanistrum*. L. *Canadian Journal of Plant Sc.* 85: 709–733.
- Weiner, J., H.-W. Griepentrog and L. Kristensen. 2001. Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *J. Applied Ecol.* 38:784-790.
- Westra, P. 1988. Weed control in quinoa. Report to Sierra Blanca Assoc. Colorado, USA.
- Wilson H.D, Manhart J. 1993. Crop/weed gene flow: *Chenopodium quinoa* Willd. and *C. berlandieri* Moq. *Theor Appl Genet* 86(5):642-648.





Capítulo 6
ENFERMEDADES PARASITARIAS
DE LA QUÍNOA
(*Chenopodium quinoa* Willd.)
EN CHILE

Rafael Galdames G.

6.1 Introducción

Afectando al cultivo de la quínoa a nivel mundial se han descrito a la fecha un reducido número de enfermedades parasitarias o causadas por diferentes agentes infecciosos como hongos, pseudohongos, bacterias, nematodos y virus (Alandia *et al.*, 1979; Danielsen *et al.*, 2003; Saravia *et al.*, 2014), de las cuales y dependiendo de la zona o región geográfica, normalmente una o dos son consideradas de importancia primaria (Danielsen *et al.*, 2003; Gómez y Aguilar, 2016).

El mildiú, causado por el oomycete *Peronospora variabilis* (= *P. farinosa* f. sp. *chenopodii*), es reconocido como una enfermedad endémica en el cultivo de la quínoa en Argentina, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (Alandia *et al.*, 1979; Aragón and Gutiérrez, 1992) donde puede llegar a causar, bajo determinadas condiciones ambientales, importantes pérdidas productivas (Danielsen *et al.*, 2001). Además, esta enfermedad se ha detectado en la India, Norteamérica y Europa (Kumar *et al.*, 2006; Tewari and Boyetchko 1990; Testen *et al.* 2012; Danielsen *et al.*, 2002), lo que da cuenta de su alta distribución.

Para Chile, la información disponible de las diferentes enfermedades que afectan a este cultivo es escasa y se limita a referencias donde se indican los fitopatógenos asociados y los síntomas que ocasionan (Acuña, 2008), sin mayores antecedentes respecto a su epidemiología, importancia y control. Lo anterior podría explicarse fundamentalmente porque a la fecha las enfermedades observadas no han representado un problema que limite la producción y en consecuencia, se ha dedicado poca atención al cultivo desde el punto de vista fitopatológico. Sin embargo, tal situación podría revertirse en la medida que la superficie sembrada se incrementa, dado que existen grandes expectativas en torno al desarrollo de este cultivo.

En este capítulo se entrega un listado de las enfermedades infecciosas (agentes causales y su sintomatología), frecuentemente descritas asociadas al cultivo de la quínoa en países de la zona productora andina (Bolivia, Perú, Ecuador, Argentina) más la información generada en el sur de Chile (Región de La Araucanía), derivado de estudios prospectivos y evaluaciones agronómicas realizadas durante tres ciclos agrícolas (2015-2018), diseñadas para cuantificar el impacto económico del mildiú, considerada la principal enfermedad parasitaria.

Cuadro 1. Enfermedades infecciosas comunes asociadas a la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en países andinos. Principales síntomas y sus agentes causales

Enfermedad	Sintomatología	Agente causal	Presencia en Chile	Referencia
Mildiú	Lesiones cloróticas (amarillas o rojizas), principalmente en el follaje. Desarrollo de estructuras reproductivas principalmente en el envés (coloración gris y aspecto afelpado)	<i>Peronospora variabilis</i> (= <i>P. farinosa</i> f. sp. <i>chenopodii</i>)	+	Danielsen et al., 2003; Choi et al., 2010; Acuña 2008; Galdames et al., 2017.
Mancha foliar	Manchas necróticas en las hojas de forma más o menos circular a irregular con centros de color claro y borde café. Presencia de picnidios	<i>Ascochyta hyalospora</i>	-	Alandia et al., 1979; Danielsen et al., 2003.
Pudrición café del tallo	Lesiones iniciales pequeñas ubicadas en el tercio superior del tallo, de color café y borde de aspecto vítreo los que pueden circundar el tallo. Presencia de picnidios	<i>Phoma exigua</i> var. <i>foveata</i> (= <i>Phoma foveata</i>)	-	Tapia et al., 1979; Danielsen et al., 2003; Boerema et al., 2004.
Phoma	Lesiones necróticas en el tallo y eventual desarrollo de picnidios	<i>Phoma dimorphospora</i> ; <i>P. chenopodiicola</i> , <i>P. huancayensis</i>	-	Aveskamp et al., 2010
Dumping off	Estrangulamiento del tallo durante la emergencia y muerte de la plántula	<i>Rhizoctonia solani</i>	+ ¹	Danielsen et al., 2003.
Marchitez / Fusariosis	Clorosis, marchitez de la parte aérea. Pudrición y necrosis de raíces	<i>Fusarium</i> spp.	+	Danielsen et al., 2003; Acuña 2008.
Mancha foliar/ Ojo de gallo/Cercosporiosis	Manchas normalmente en hojas inferiores, pequeñas de color café, pueden alcanzar casi 1 cm	<i>Passalora dubia</i> (= <i>Cercospora dubia</i>)	-	Tapia et al., 1979; Saravia, R; Plata, G; Gandarillas, A. 2014.
Moho verde	Manchas foliares de color verde a negro, normalmente asociada a las lesiones causadas inicialmente por el mildiú	<i>Cladosporium</i> sp.	+	Saravia et al., 2014; Gómez y Aguilar, 2016. Galdames et al., 2017
Tizón bacteriano	Pequeñas manchas irregulares, inicialmente de aspecto húmedo en hojas y tallos. Posteriormente, manchas café oscuro en las hojas y las del tallo se necrosan	<i>Pseudomonas</i> sp.	+ ¹	Otazú y Salas, 1975; Tapia et al., 1979; Alandia et al., 1979.

+¹: Presencia del agente causal pero no descrito afectando al cultivo.

6.2 Mildiú

6.2.1 Agente causal

Se reconoce actualmente a *Peronospora variabilis* como el agente causal del mildiú de la quínoa (Choi et al., 2010). En numerosos estudios y reportes de esta enfermedad el patógeno se ha identificado con *Peronospora farinosa*. Sin embargo y derivados de nuevos criterios morfológicos, sumados a estudios moleculares y filogenéticos, se determinó que *P. farinosa* es un complejo de especies con afinidad biológica para infectar solo a ciertas especies pertenecientes al género *Chenopodium*. *P. variabilis* en cambio, ha demostrado ser a la fecha patógeno solo en dos especies del género *Chenopodium*, *C. quinoa* (quínoa) y *C. album* (quinguilla) (Choi et al., 2010), esta última una maleza común en el sur de Chile.

6.2.2 Sintomatología

Los síntomas causados por esta enfermedad son diversos y en gran medida dependen de la variedad, estado de desarrollo del cultivo y de factores ambientales. Normalmente los síntomas se presentan en las hojas, sin embargo también se han visto en tallos, ramas, inflorescencia y granos (Saravia et al., 2014). En el sur de Chile (Región de La Araucanía), los primeros síntomas se pueden observar en el follaje (hojas) muy tempranamente durante el desarrollo del cultivo, los cuales se manifiestan como lesiones cloróticas (amarillas o rojizas, dependiendo del genotipo de la quínoa), en la cara superior de las hojas. Las lesiones se van extendiendo pudiendo cubrir gran parte de su superficie (Foto 1). De forma paralela a este proceso, en la cara inferior de las hojas, se pueden observar las estructuras reproductivas del patógeno caracterizadas a simple vista por su coloración gris y de aspecto afelpado (Foto 2). Posteriormente, las lesiones cloróticas se necrosan, siendo frecuente encontrar particularmente en lesiones viejas, pequeñas manchas negras producidas por hongos del género *Cladosporium* que colonizan el tejido parasitado por el mildiú (Foto 3). Defoliación prematura también ha sido atribuido a la infección por mildiú (Alandia et al., 1979), sin embargo estrés ambiental como falta de agua pueden ocasionar similar efecto (Foto 4).



Foto 1. Síntomas tempranos y variaciones en la clorosis foliar (amarillo y rojizo) en diferentes genotipos de quínoa, como resultado de los pigmentos predominantes que producen.

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)

Foto 2. Clorosis foliar y esporulación de *P. variabilis*, caracterizado por su coloración gris y de aspecto afelpado. En la cara inferior de una hoja donde se observan las estructuras reproductivas del patógeno (esporangióforo y esporangios, vistos bajo un microscopio).

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)



Foto 3. En estados avanzados las manchas foliares coalescen (a) y se necrosan (b), siendo frecuente encontrar a *Cladosporium* colonizando el tejido necrosado (c).

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)



Foto 4. Síntomas foliares en plantas adultas, donde se aprecia cierto patrón ascendente en el desarrollo de síntomas (izquierda) y defoliación parcial (derecha).

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)



6.2.3 Ciclo de la enfermedad y condiciones predisponentes

P. variabilis produce dos tipos de esporas, las de origen sexual (oosporas) y las asexuales (esporangios). Las oosporas pueden estar presentes en el suelo, residuos contaminados del ciclo anterior o en la semilla. El rol específico de las oosporas presentes en el suelo, residuos y/o semilla, en la dispersión e inicio de la enfermedad no está completamente claro. Sin embargo, se considera que deberían jugar un rol importante en la sobrevivencia del patógeno y en consecuencia, representan el inóculo primario de la enfermedad. Por otra parte, los esporangios que son diseminados por el viento y lluvia, son considerados fundamentales en la dispersión de la enfermedad durante todo el ciclo del cultivo. Al caer sobre una hoja y al existir agua libre y/o alta humedad relativa, germinan y después

de 5-6 días de iniciada la infección (germinación del esporangio, formación del tubo germinativo, penetración de la hifa y colonización interna del tejido), se desarrollan los esporangióforos que darán origen a nuevos esporangios. El proceso anterior es continuo o se repetirá varias veces durante todo el desarrollo del cultivo, en la medida que las condiciones ambientales lo permitan y exista tejido vivo del hospedero. Temperaturas frescas y humedad relativa alta (>80%) son ideales para un desarrollo rápido de la infección. Así como para su dispersión dentro del cultivo. Por lo anterior, en ambientes o temporadas donde las condiciones ambientales se caracterizan por períodos secos y calurosos, la enfermedad no se presenta o el daño que puede causar es mínimo (Danielsen et al., 2003).

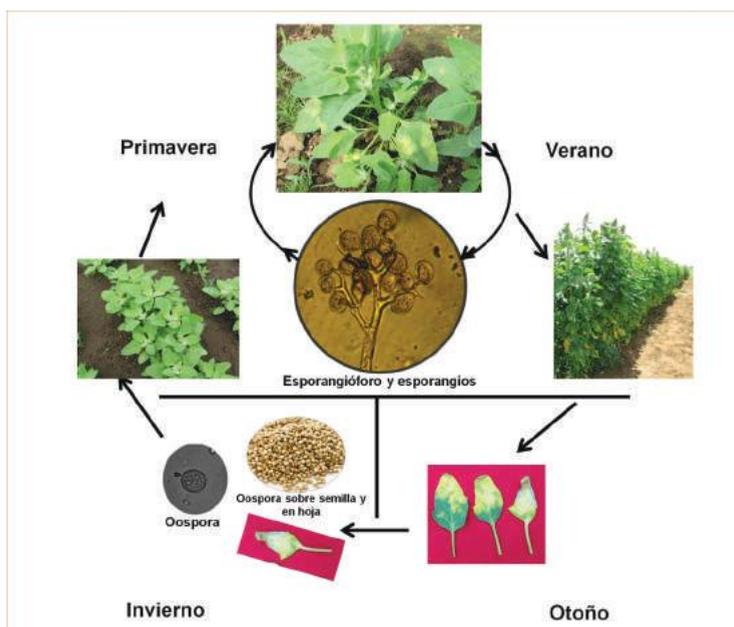


Figura 1. Ciclo de vida de *P. variabilis*, agente causal del mildiú en la quínoa.

6.2.4 Importancia y/o nivel de pérdidas

A pesar que el mildiú es una enfermedad de alta distribución y considerada la más importante que afecta al cultivo a nivel mundial, la información disponible de las pérdidas productivas que ocasiona es limitada. Factores ambientales, varietales y momento en que se produce la infección inicial explican en gran medida el nivel de pérdidas que llega a causar (Danielsen et al., 2003).

En evaluaciones experimentales realizadas en Perú con diferentes genotipos y bajo condiciones de alta presión de infección, las pérdidas productivas estimadas han fluctuado entre un 33% a un 99% (Danielsen et al., 2001). En ambientes secos y/o de baja humedad relativa, la enfermedad no reviste inconveniente (Danielsen et al., 2003).

Para la zona sur de Chile (Región de La Araucanía), en un primer experimento de campo diseñado para medir la incidencia de mildiú en la variedad Regalona Baer, se evaluaron opciones de control químico en base a tres tratamientos fungicidas en una (ametoctradina / dimetomorf), dos (cimoxanilo / mancozeb + ametoctradina / dimetomorf) y tres (cimoxanilo / mancozeb + ametoctradina / dimetomorf + ametoctradina / dimetomorf) aplicaciones durante todo el ciclo del cultivo. En el testigo sin protección, la infección expresada como índice de severidad (%) de la enfermedad fue superior a las parcelas tratadas y el tratamiento que incluyó tres aplicaciones fue el más efectivo en el control, sin embargo no se registró un efecto negativo en el rendimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Incidencia (Índice de severidad) y estimación de pérdidas asociadas al mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2015-2016 (INIA Carillanca)

Tratamientos	Dosis (P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú IS (%)	Rendimiento (qq ha ⁻¹)
1. Testigo	-	39,13	62,18
2. Zampro DM	800cc	34,80	61,35
3. Curzate M8 / Zampro DM	1,5Kg/800cc	31,27	58,93
4. Curzate M8 / Zampro DM / Zampro DM	1,5Kg/800cc/800cc	29,45	63,86
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)			0,79 ns 11,2

¹Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). IS (%): Índice de severidad. Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: > 50 %). Zampro DM (ametoctradina+dimetomorf); Curzate M8 (cimoxanilo/mancozeb).

En un segundo año, tres aplicaciones de fungicidas durante el ciclo del cultivo para la variedad Regalona Baer más otros dos genotipos, se logró detectar solo en uno de ellos (CQU 98) un incremento significativo de rendimiento asociado al tratamiento fungicida (Cuadro 2).

Cuadro 2. Incidencia (Índice de severidad) y estimación de pérdidas asociadas al Mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2016-2017 (INIA Carillanca)

Tratamientos	Dosis (L P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú IS (%)			Rendimiento (qq ha ⁻¹)		
		CULTIVAR Y GENOTIPOS			CULTIVAR Y GENOTIPOS		
		Regalona Baer	CQU-98	CQU-116	Regalona Baer	CQU-98	CQU-116
1. Testigo	-	31,7	23,3	15,0	43,71	33,59	35,63
2. Zampro DM/Zampro DM/Infinito	0,8/ 0,8/ /1,2	26,6	18,3	10,0	41,34	38,81	32,01
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)					0,095 ns 3,9	0,008 ns 4,9	0,11 ns 8,3

¹Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). IS (%): Índice de severidad. Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: > 50 %). Tratamiento fungicida: Dos aplicaciones de Zampro DM (ametoctradina + dimetomorf) y una de Infinito 687.5 SC (propamocarb + fluopicolide).

En un tercer año de evaluación en dos localidades (Vilcún y Tranapunte), tres aplicaciones de fungicidas durante el ciclo del cultivo para la variedad Regalona más los genotipos CQU 98 y CQU 116, no se logró detectar diferencias en rendimiento asociadas a los tratamientos fungicidas (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Incidencia (Índice de severidad) y estimación de pérdidas asociadas al Mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2017-2018 (INIA Carillanca)

Tratamientos	Dosis (L P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú I.S (%)			Rendimiento (qq ha ⁻¹)		
		CULTIVAR Y GENOTIPOS			CULTIVAR Y GENOTIPOS		
		Regalona Baer	CQU-98	CQU-116	Regalona Baer	CQU-98	CQU-116
1. Testigo	-	59,5	42,90	44,3	16,24	16,60	16,07
2. Zampro DM/Infinito/Infinito	1,0/ 2,5/ /2,0	45,6	37,63	39,5	15,81	18,01	14,26
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)					0,82 ns 15,1	0,40 ns 11,8	0,20 ns 10,2

¹ Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). Promedios No unidos por igual letra son significativamente diferentes. IS: Índice de severidad (%). Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: >50 %). Tratamiento fungicida: Una aplicación de Zampro DM (ametoctradina + dimetomorf) y dos de Infinito 687.5 SC (propamocarb + fluopicolid).

Cuadro 4. Incidencia y estimación de pérdidas asociadas al Mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2017-2018 (Tranapunte, comuna de Carahue)

Tratamientos	Dosis (L P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú I.S (%)			Rendimiento (qq ha ⁻¹)		
		CULTIVAR Y GENOTIPOS			CULTIVAR Y GENOTIPOS		
		Regalona Baer	CQU-98	CQU-116	Regalona Baer	CQU-98	CQU-116
1. Testigo	-	73,18	60,14	37,62	20,51	18,9	21,58
2. Zampro DM/Infinito/Infinito	1,0/ 2,5/ /2,0	48,36	43,62	43,75	21,82	21,23	20,93
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)					0,33 ns 7,6	0,19 ns 25,0	0,65 ns 8,6

¹ Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). Promedios no unidos por igual letra son significativamente diferentes. IS: Índice de severidad (%). Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: >50 %). Tratamientos: Una aplicación de Zampro DM (ametoctradina + dimetomorf) y dos de Infinito 687.5 SC (propamocarb + fluopicolid)

6.2.5. Medidas de prevención y control

En el control de esta enfermedad se ha recomendado integrar varias prácticas de manejo, las cuales en general están supeditadas a las condiciones productivas de las diferentes zonas (Saravia *et al.*, 2014). El empleo de tratamientos fungicidas, aunque factible no representa una práctica común para el control de la enfermedad (Danielsen *et al.*, 2003). Sin embargo, en zonas de alta humedad ambiental y al emplearse variedades muy susceptibles, se han sugerido hasta cuatro aplicaciones de tratamientos foliares, iniciándose en estados muy tempranos de desarrollo del cultivo y repitiéndose cada 7-14 días (Saravia *et al.*, 2014). En Bolivia, prácticas culturales que contribuyen a minimizar la humedad relativa en el microambiente del cultivo, como reducir la densidad de plantas entre y sobre la hilera, orientar las hileras en la dirección de los vientos predominantes y evitar el exceso de agua en el suelo, reducen la severidad de la enfermedad (Danielsen *et al.*, 2003). Por otra parte, la resistencia genética se ha propuesto como la estrategia más eficiente para el control de esta enfermedad. En varios países se han identificado genotipos con mayor resistencia a mildiú, sin embargo hasta el momento no existen variedades comerciales disponibles (Plata *et al.*, 2014). En Chile la variedad Regalona Baer, aunque muestra moderada susceptibilidad a la enfermedad, ésta no ha llegado a causar caídas en rendimiento.

Dentro de las prácticas sugeridas para el control del mildiú en la Región de La Araucanía se incluye: siembras tempranas (antes de septiembre); evitar el monocultivo (idealmente repetir quínoa cada 3 años); eliminar rastrojos o residuos infectados; emplear semilla sana o libre de infección; evitar poblaciones muy altas de plantas y realizar un buen control de malezas, especialmente de quinguilla, la que puede actuar como fuente de inóculo. Aplicaciones de fungicidas foliares, aunque pueden ser una opción, hasta el momento no se han justificado.

Referencias Bibliográficas

- Alandia, S., V. Otazú, and B. Salas. 1979. Enfermedades. In: Tapia, M., H. Gandarillas, S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazú, J. Rea, B. Salas, and E. Sanabria, (eds.). Quinoa y Kañiwa. Editorial IICA, Bogotá, Colombia, p. 137–148.
- Aragón L, Gutiérrez W (1992). El mildiu en cuatro especies de *Chenopodium*. Fitopatología 27:104–109.
- Acuña, R. 2008. Compendio de fitopatógenos de cultivos agrícolas en Chile. Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, 120 p.
- Aveskamp, M., de Gruyter, H., Woudenberg, J., Verkley, G., and Crous, P.W. 2010. Highlights of the Didymellaceae: A polyphasic approach to characterise *Phoma* and related pleosporalean genera. *Stud. Mycol.* 65: 1-64.
- Boerema, G.H., De Gruyter, J., Noordeloos, M.E., and Hamers, M.E.C. 2004. *Phoma* identification manual: differentiation of specific and infra-specific taxa in culture. CABI Publishing, 470 pages.
- Choi, Y.-J., Danielsen, S., Lubeck, M., Hong, S.-B., Delhey, R., and Shin, H.-D. 2010. Morphological and molecular characterization of the causal agent of downy mildew on quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Mycopathologia* 169: 403-412.
- Danielsen, S., Jacobsen, S.E., Echegaray, J., Ames, T., 2001. Impact of downy mildew on the yield of quinoa. In: CIP program report 1999–2000. International Potato Center, Lima, Perú, pp. 397–401.
- Danielsen, S., Bonifacio, A., Ames, T., 2003. Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International*, 19 (1–2), 43–59.
- Galdames, R., Contreras, E., y Díaz J. 2017. Situación fitopatológica de la quinoa (*C. quinoa*) y estimación de pérdidas causadas por *P. variabilis* en el sur de Chile Resúmenes de Exposiciones VI Congreso Mundial de la Quinoa, III Simposio Internacional de Granos Andinos. Perú. p61.
- Gómez, L. y Aguilar E. 2016. Guía de cultivo de la quinoa. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú 2016. 122 pp. Otazú, V. y Salas, B. 1975. Una enfermedad bacteriana en quinoa. *Fitopatología* 10, 79.
- Otazú, V. y Salas, B. 1977. La podredumbre marrón del tallo de la quinoa (*Chenopodium quinoa*) causada por *Phoma exigua* var. *foveata*. *Fitopatología* 12: 54 – 58.
- Saravia, R; Plata, G; Gandarillas, A. 2014. Plagas y enfermedades del cultivo de Quinoa. Cochabamba, BO, Fundación PROINPA; 148p.
- Tewari P.N., Boyetchko S.M 1990. Occurrence of *Peronospora farinose* f. sp. *chenopodii* on quinoa in Canada. *Can. Plant Dis. Surv.*, 70: 127–128.



Capítulo 7
**INSECTOS ASOCIADOS
AL CULTIVO DE QUÍNOA**

Patricia D. Navarro
Guillermo Contreras J.
Sebastián Aguilera

7.1 Introducción

En los países andinos el cultivo de quínoa es afectado por una amplia gama de insectos que se establecen en la planta desde emergencia hasta postcosecha, y Chile no es la excepción. Hasta la fecha se ha descrito en nuestro país un importante número de plagas en quínoa, a las cuales se han sumado otras que cobran mayor relevancia debido a los efectos del cambio climático. Producto de la poiquilotermita o incapacidad que tienen los insectos de regular la temperatura por mecanismos internos, este grupo de invertebrados son probablemente uno de los organismos que mejor responden a los cambios en el clima, especialmente a los incrementos de temperatura (Björkman y Niemelä, 2015).

Los antecedentes que se presentan a continuación son parte del proyecto ejecutado en nuestra región, y donde uno de sus objetivos fue identificar los insectos asociados al cultivo de quínoa en el sur de Chile (Región de La Araucanía) durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. Para el desarrollo de este objetivo se establecieron parcelas experimentales de quínoa de la variedad Regalona Baer y genotipo CQU 101. Dichas parcelas fueron establecidas en las localidades de Vilcún (Centro Regional INIA Carillanca) y Carahue (Estación Experimental INIA en Tranapunte).

Los resultados presentados a continuación corresponden a una primera determinación de los insectos asociados al cultivo de quínoa. Se espera que estas observaciones sienten las bases para futuros estudios de plagas que afectan a este cultivo en el sur de Chile, cuyas evaluaciones debieran estar enfocadas en los aspectos básicos de la biología, comportamiento e interacción insecto-planta con énfasis en su control.

7.2 Áfidos o pulgones (Hemiptera: Aphididae)

Los áfidos son considerados una plaga ocasional en cultivo de quínoa, sin embargo, estos han tomado relevancia debido a su abrupto aumento poblacional observado en los últimos años producto del alza de temperatura.

La determinación de las especies de áfidos asociadas al cultivo de quínoa fue realizada a través de trampas Möericke y observación del establecimiento de colonias en la planta. Las cinco especies principales observadas correspondieron a *Macrosiphum euphorbiae*, *Myzus persicae* (Foto 1), *Aphis gossypii*, *Aphis sp.*, y *Aphis craccivora* (Foto 2). Por otra parte, las principales especies colonizadoras correspondieron a *M. persicae* y *A. craccivora*.

7.2.1 *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)

Especie comúnmente conocida como pulgón del duraznero, la cual se encuentra ampliamente propagada a través del mundo, es altamente polífaga y prolífica. Dependiendo de las condiciones ambientales, *M. persicae* puede multiplicarse por partenogénesis, formando grandes poblaciones en poco tiempo. Ninfas y adultos ápteros

(sin alas) se ubican principalmente en el envés de la hoja. En muchos otros cultivos, el principal problema asociado a esta especie es su rol como vector de virus, sin embargo se desconoce si *M. persicae* se encuentra transmitiendo este tipo de enfermedades en quínoa en nuestro país.

7.2.2 *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae)

Especie de áfido reportado en un amplio número de cultivos incluyendo las familias rosaceae, chenopodiaceae, malvaceae, cruciferae, cucurbitaceae, solanaceae. Tanto adultos como estados inmaduros (ninfas) se alimentan de la savia de la planta, localizándose bajo las hojas o en los tallos tiernos. Su presencia, eventualmente puede llegar a producir clorosis del follaje.

Foto 1. *Myzus persicae* (adulto alado) comúnmente conocido como pulgón del duraznero.

Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca)



Foto 2 *Aphis craccivora* (adultos ápteros), comúnmente conocido como pulgón negro de las leguminosas.

Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca)



7.3 Complejo de larvas

7.3.1 *Helicoverpa zea* o gusano del choclo (Lepidóptera: Noctuidae)

Importante plaga agrícola que forma parte del complejo de larvas que ataca a una serie de cultivos como maíz, leguminosas, hortalizas y papas entre varios otros. Las larvas de *H. zea* (Foto 3 a) presentan una variada gama de colores que va desde el verde claro pasando por café y hasta colores rojizos. La importancia económica de esta especie radica en su gran capacidad de comer y defoliar la planta, lo cual se traduce en una reducción del área fotosintética. Este lepidóptero posee la particularidad de enroscarse cuando cae al suelo (Dughetti, 2015). Su ciclo completo dura entre 30 a 35 días dependiendo de la temperatura, por lo que puede llegar a presentar tres generaciones por año. En la Región de La Araucanía también afecta en forma importante a lupino, papa, maíz y varias hortalizas.

7.3.2 *Rachiplusia nu* o larva medidora (Lepidóptera: Noctuidae)

Se le conoce como larva medidora (Foto 3b), debido al particular movimiento que realiza al desplazarse. Posee tres pares de patas torácicas y tres falsas patas abdominales, las que arquea para realizar el movimiento "medidor o looper". El ciclo de vida incluye huevo, cinco estados larvales, pupa y la polilla adulta, la que mide alrededor de 35 mm con sus alas extendidas. El ciclo de vida completo dura entre 36-38 días dependiendo de la temperatura (Navarro *et al.*, 2009). Esta larva fue observada en quínoa alimentándose de hojas (principalmente nuevas y tiernas) y de la panoja (flores, granos en formación y grano pastoso). De acuerdo a Dughetti (2015) también afecta brotes nuevos. Aunque *Rachiplusia nu* es generalmente considerada como plaga ocasional en otros países andinos donde se cultiva quínoa, en Chile es un insecto bastante común en este cultivo, al que debe observarse con cautela ya que al alimentarse de flores y granos afecta directamente el rendimiento del cultivo.

7.3.3 *Copitarsia sp.*, gusano cortador o gusano ejército (Lepidóptera: Noctuidae)

La larva (Foto 3c) de la especie *Copitarsia sp.* es altamente polífaga, posee movimiento medidor (Foto 3d) al desplazarse y se alimenta de chenopodiáceas, solanáceas, leguminosas y amarantáceas. El insecto adulto (polilla) posee hábito nocturno y deposita los huevos en masa sobre el envés de la hoja de quínoa. Las larvas poseen seis estados los que se alimentan de hojas (Foto 4) en forma voraz. En el caso de larvas obtenidas desde cultivo de quínoa observó canibalismo (se comen entre ellas) en los últimos estados larvales (IV, V y VI) de esta especie en condiciones de laboratorio. Las larvas cortan hojas y tallos nuevos, produciendo caída de planta y panoja. La etapa de pupa ocurre en el suelo.

En las localidades evaluadas del sur de Chile, esta larva se encuentra presente a partir de las primeras hojas de la planta de quínoa y, en comparación a otras especies de lepidóptera, es la que permanece más tiempo presente durante la fenología del cultivo.



Foto 3. Complejo de larvas que afectan quínoa. a) *Helicoverpa* sp. b) *Rachiplusia nu* (Fuente: www.intactarr2pro.com.ar), c) *Copitarsia* sp. d) Movimiento medidor de *Copitarsia*. Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca)



Foto 4. Daño del gusano ejército *Copitarsia* sp., en hoja de quínoa. Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca)

7.4 Moscas

7.4.1 *Liriomyza* sp. o mosca minadora (Diptera: Agromyzidae)

Comúnmente conocida como mosca minadora de las huertas o de las hortalizas (Foto 5a), es una especie altamente polífaga que afecta el área foliar de la planta. Su daño se caracteriza principalmente por la formación de minas en forma de serpentina (zig zag) o guirnaldas en el haz de la hoja (Foto 5b). La hembra ovipone los huevos sobre la hoja desde donde eclosiona la larva de primer estadio. Esta larva comienza a alimentarse del parénquima de la hoja formando una galería interna por donde se desplaza lo que se conoce como "mina". En casos donde se observa un número bajo de minas por planta no representa un mayor problema. Sin embargo, cuando la infestación es alta, las minas se unen unas con otras produciendo defoliación y pérdida de área fotosintética, lo cual afecta indirectamente el rendimiento del cultivo.



Foto 5. Mosca minadora *Liriomyza* sp. a) mosca adulta, b) minas en forma de serpentina. Fuente: www.entnemdept.ufl.edu

Esta mosca es comúnmente encontrada en hortalizas, huertas caseras e invernaderos donde puede permanecer y pasar de un cultivo a otro hasta llegar a la quínoa. Malezas como quinguilla y vinagrillo también fueron observadas como hospederos de esta mosca. En las localidades donde se realizaron dichas observaciones *Liriomyza* fue encontrada 50 días después de la siembra, la cual se realizó la primera quincena de octubre. El *peak* de presencia e incremento del número de minas se observó la primera semana de enero en La Araucanía. La infestación de esta mosca fue mayor en la temporada 2016-17 que 2017-18 en la comuna de Vilcún.

7.5 Trips



Foto 6. Trips adulto, afecta la panoja de la planta causando heridas en flores, granos y brotes nuevos.
Fuente: Sebastián Aguilera. (Universidad Católica de Temuco).

7.5.1 *Frankliniella* sp. (Thysanoptera: Thripidae)

La presencia de trips (Foto 6), se observó a partir de diciembre de 2017 en la panoja de planta de quínoa, con incrementos poblacionales al finalizar el mismo mes. Cuando las poblaciones de este insecto son bajas se dificulta su identificación, ya que se ubican al interior de la panoja en la sección central. Los trips poseen aparato bucal raspador, produciendo heridas en los crecimientos nuevos de la panoja, los que posteriormente se traducen en manchas estéticas de color café y daño en el grano. Por otra parte, estos insectos poseen un alto potencial como vectores de virus, desconociéndose el verdadero impacto que este tipo de vectores pudiera tener en cultivos de quínoa de nuestro país.

En la comuna de Vilcún la especie observada correspondió a *Frankliniella* sp., cuyo insecto adulto mide 1 mm aproximadamente, con escasa cantidad de machos ya que las hembras pueden reproducirse por partenogénesis. La cantidad de trips observada en las panojas de quínoa fue mayor en la temporada 2016-17 que en la temporada 2017-18.

7.6 Chinchas y polilla de la panoja o polilla del estuche



Foto 7. Chinche adulto familia Rhopalidae.
Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca)

Chinchas de las familias Rhopalidae (Foto 7) y Miridae (Foto 8) y polillas de la panoja (Foto 9) son sin lugar a duda las principales plagas del cultivo de quínoa observadas en las localidades evaluadas. Existen al menos tres especies (por identificar) de chinchas, los que se encuentran presentes durante la mayoría del ciclo del cultivo, desde inicio de formación de panoja hasta la senescencia de la planta. Existe a la vez un traslape de estadios ninfales entre las diferentes especies, lo cual dificulta su identificación.

Se observó un alto grado de infestación de chinchas en campo, tanto adultos como ninfas, alcanzando a contabilizar hasta 130 individuos por planta. Las poblaciones de estos insectos aumentan significativamente entre los meses de enero y febrero observándose un grado mayor de infestación en la comuna de Vilcún que en Carahue. Tanto

la variedad Regalona Baer como CQU 101 fueron afectadas por dichos insectos. Estos chinches son una plaga sobre la cual los estudios deben ser profundizados en términos de daño económico y control, sobre todo en aquellos cultivos sin manejo agronómico. Tanto adultos como ninfas afectan la inflorescencia de la planta al alimentarse del grano, produciendo aborto floral.

Por otra parte, las larvas de la polilla del estuche forman su pupa (Foto 9) en la panoja de la planta de quínoa. Se le llama polilla del estuche ya que su capullo lo realizan con restos de la misma panoja y planta el que posee forma de estuche. A mediados de la época estival es posible evidenciar un importante número de polillas sobre la panoja, las cuales pueden ser fácilmente confundidos con heces de pájaros. Probablemente a primera vista no se le dará mayor importancia a la presencia de estas pupas, ya que se observarán inmóviles y hasta podrían pasar desapercibidas. Sin embargo, en algunas ocasiones y por medio de una lupa de campo (30X), es posible visualizar la cabeza de la larva cuando sale a comer desde el estuche hacia la panoja.



Foto 8. Familia Miridae a) Panoja con adultos y ninfas, b) Estado adulto.
Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca).



Foto 9. Pupa de la polilla del estuche o polilla de la panoja indicada por flecha blanca. En su interior se encuentra la larva.
Fuente: Patricia D. Navarro (INIA Carillanca)

7.7 Conclusiones y comentarios

Las plagas asociadas al cultivo de quínoa en La Región de La Araucanía fueron observadas a partir de la emergencia de las primeras hojas de la planta. El complejo de lepidópteras compuesto por las especies *Helicoverpa* sp., *Rachiplusia nu* y *Copitarsia* sp., se encuentran presentes alimentándose vorazmente de hojas y tallos nuevos de la planta. Posteriormente en la temporada es posible encontrar tanto chinches como miridos (Orden Hemíptera), los cuales presentan su *peak* a mediados de enero, observándose un importante traslape de al menos tres especies de chinches. Ambos hemípteros se alimentan de los granos en formación de la panoja, lo cual afecta directamente el rendimiento del cultivo. Una vez formada la panoja comienza a observarse la presencia de la larva del estuche, especie lepidóptera que es considerada como plaga de importancia económica en otros países donde se cultiva quínoa.

En Chile no se conoce el umbral de daño económico de ninguna de las plagas antes mencionadas, por lo que este aspecto junto al registro de insecticidas específicos para el cultivo y la investigación sobre el potencial de insectos vectores como áfidos, chinches y trips quienes pueden transmitir virus a la planta, son los principales desafíos pendientes en relación al manejo y control de plagas asociadas al cultivo de quínoa.

Referencias Bibliográficas

- Björkman, C., y P. Niemelä. 2015. Climate change and insect pests. CABI. 248 p.
- Capinera, J. L. 2014. *Liriomiza sativae* Blanchard (Insecta: Diptera: Agromyzidae). In: Featured Creatures. University of Florida. Entomology Nematology Department. Revisado 3 de agosto de 2019. http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/vegetable_leafminer.htm.
- Dughetti, A.C. 2015. Plagas de la quínoa y sus enemigos naturales en el valle inferior del Río Colorado. Buenos Aires, Argentina. INTA Ediciones. 63 p.
- Navarro, F. R.; Saini, E. D. y Leiva, P. D. 2009. Clave pictórica de polillas de interés agrícola agrupadas por relación de semejanza. Primera edición. INTA EEA Pergamino e IMIZA- CNIA Castelar. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto "Miguel Lillo", UN Tucumán, Buenos Aires, Argentina, 100 p.



Capítulo 8
MANEJO DEL AGUA
DE RIEGO EN QUÍNOA

Rafael López-Olivari

8.1 Introducción

La intensidad y frecuencia de las precipitaciones han estado cambiando en Chile y desde la Región de La Araucanía hacia el sur han disminuido aproximadamente entre 20 y 30%, respecto a la pluviometría histórica entre septiembre y marzo, afectando directamente los períodos de crecimiento y desarrollo de la quínoa (López-Olivari, 2016). Esto conlleva a la necesidad de tomar medidas preventivas adelantándose con soluciones en este tema y optimizar el uso del recurso hídrico enfocado a incrementar el rendimiento y calibre del grano. A pesar que el cultivo de quínoa se cultiva bajo una condición de lluvia natural ("secano"), es necesario implementar un manejo del agua intra predial incorporando las cuatro preguntas básicas: ¿Por qué regar?, ¿Cómo regar?, ¿Cuándo regar? y ¿Cuánto regar?, y de esta manera acercarse al rendimiento potencial de la quínoa. Para aclarar adecuadamente estas preguntas es necesario conocer, entender y aplicar conceptos básicos de suelo, de planta, de clima y de agua de riego y sus interacciones. Una apropiada respuesta a dichas preguntas permite lograr y obtener buenos resultados al final de los procesos productivos. Además, ayuda a una buena gestión hídrica, pudiendo cuantificar la cantidad de agua que entra y sale del sistema (balances hídricos). Sin embargo, para realizar apropiadamente dichos manejos, es necesario cuantificar la cantidad óptima de agua que necesita la quínoa perteneciente al grupo "ecotipo de la costa" (Fuentes *et al.*, 2009), considerando características topoclimáticas y etapas fenológicas.

8.2 Antecedentes Generales

8.2.1 Ubicación y aspectos agronómicos

Para cuantificar la cantidad de agua de riego a aplicar al cultivo de quínoa se establecieron dos unidades experimentales en la localidad de INIA Carillanca (sector valle central, comuna de Vilcún, Chile: 38°41'34.25" S; 72°24'40.35" O; 189 m.s.n.m.) y en la localidad de Tranapunte (Sector costa, comuna de Carahue, Chile: 38°41'23.55" S; 73°21'11.62" O; 66 m.s.n.m.) durante 3 temporadas agrícolas (2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018). Se utilizaron dos genotipos de quínoa: el genotipo CQU 386 y la variedad Regalona Baer. Además, la aplicación de nitrógeno fue parcializado (siembra, 4 y 6 hojas desplegadas), mientras que el fósforo fue aplicado todo a la siembra y el potasio fue parcializado (siembra y 4 hojas desplegadas). Adicionalmente, se incorporó magnesio, azufre y boro a la siembra. Finalmente, se aplicó un herbicida preemergente y durante el período de crecimiento y desarrollo de la quínoa se realizaron limpiezas manuales de las malezas. El cultivo fue sembrado con un espaciamiento entre hilera de 40 cm a una dosis de siembra de 10 kg/ha en ambas localidades. Las fechas de siembra para INIA Carillanca durante las tres temporadas fueron 2; 23 y 20 de septiembre para las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente (Foto 1a). Para el caso de la variedad Regalona Baer la cosecha fue el 25 de febrero durante la temporada

2015/2016 y el 14 de febrero para las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. Mientras que el genotipo CQU 386 fueron el 16 de marzo; 24 y 28 de febrero durante las temporadas 2015/16; 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente. Para la localidad de Tranapunte las fechas de siembra fueron el 10; 13 y 15 de septiembre durante las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente (Foto 1b). Así, para esta localidad la variedad Regalona Baer fue cosechada el 25 de febrero, 9 de febrero y 23 de marzo para las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente. El genotipo CQU 386 fue cosechado el 16 de marzo; 27 de febrero y 23 de marzo para las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente.



Foto 1. Momento de siembra del cultivo de quínoa para los ensayos de riego.
a) INIA Carillanca y b) Tranapunte.
Fuente: Rafael López-Olivari (INIA Carillanca)

8.2.2 Información de suelo

Antes de realizar la programación del riego en el cultivo de quínoa es necesario conocer las propiedades físico-hídricas del suelo como: textura, materia orgánica, densidad aparente y las curvas de retención de humedad gravimétrica (% p/p). Para ello, se debe extraer una muestra de suelo por cada estrata en el perfil y enviarlo a un laboratorio especializado. Lo anterior permite determinar la acumulación de humedad del suelo real en cada estrata y del perfil completo de cada lugar. Además, esta información es relevante para la calibración de los sensores de humedad de suelo y cálculo de las frecuencias de riego, usando el concepto de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) hasta cierto umbral de agotamiento de la humedad de suelo en el perfil radicular (UR) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades físico-hídricas presentes en los suelos de cada localidad evaluada

Localidad	Textura	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Da (g/cm ³)	CC (%θ)	PMP (%θ)	UR (%)
INIA Carillanca	Franco limoso	13,41	25,0	54,3	20,7	0,79	51,88	26,72	61
Tranapunte	Franco limoso	13,69	6,1	68,3	25,6	0,88	49,10	28,50	61

MO: materia orgánica; Da: Densidad aparente; CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; UR: Umbral de riego de acuerdo a García (2003).

A pesar que el suelo entre la localidad de INIA Carillanca y Tranapunte son similares, presentan un porcentaje de arena diferente. Esto puede influir potencialmente de manera directa en la frecuencia de los riegos del cultivo, ya que el suelo de INIA Carillanca presenta un porcentaje de arena mayor que el de Tranapunte, pudiendo requerir riegos con una mayor frecuencia. Así, conocer las propiedades físico-hídricas del suelo permitiría determinar la capacidad de estanque o de almacenamiento de humedad, requisito importante para realizar una adecuada programación de riego en el cultivo de quínoa.



Foto 2. Muestreo de profundidad efectiva y total de las raíces en un período de crecimiento y desarrollo del cultivo de quínoa en la localidad de INIA Carillanca. Fuente: Rafael López-Olivari (INIA Carillanca)

Finalmente, se aconseja realizar una calicata en el lugar antes de sembrar, con el propósito de observar en el perfil si existe más de una estrata y estimar potencialmente hasta qué profundidad llegarían las raíces del cultivo. Si hay más de una estrata de suelo en el perfil se aconseja realizar un análisis de las propiedades físico-hídricas por estrata (textura, densidad aparente, materia orgánica y curva de retención de humedad). Otra opción es sacar un análisis de suelo completo donde además incorpora información de los macro y micronutrientes que sirven para realizar una fertilización racionalizada. Adicionalmente, dentro del perfil de suelo es importante revisar hasta qué profundidad efectiva llegan las raíces de la quínoa durante su ciclo productivo. Ya que de esto depende hasta dónde se debe mojar el suelo para mantener una buena humedad en la zona de raíces. Durante las tres temporadas evaluadas el promedio de profundidad efectiva y total de raíces en las dos localidades fueron entre 25-30 y 35-40 cm, respectivamente (Foto 2).

8.2.3 Información de clima

Los registros de las variables meteorológicas fueron realizados usando una estación meteorológica automática (EMA) ubicada bajo un pasto verde en referencia con crecimiento activo de acuerdo a lo propuesto por Allen *et al.*, (1998). La EMA fue utilizada para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o), pluviometría total (P_p) y efectiva (P_{pef}) en las dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte). Los datos diarios de ET_o, P_p y P_{pef} fueron promediados para las tres temporadas evaluadas y se muestran en la Figura 1. Para la localidad de INIA Carillanca entre siembra (septiembre) y cosecha (febrero-marzo), se pudo observar 7 eventos de precipitación efectiva (Eventos diarios sobre 11 mm) (Figura 1a). Estos eventos son efectivos, ya que alcanzan a humedecer la profundidad efectiva de raíces, que en este caso alcanzó a los 25 cm dentro del perfil de suelo. Sin embargo, para la localidad de Tranapunte entre siembra (septiembre) y cosecha (febrero-marzo) se observaron 15 eventos diarios sobre los 11 mm (Figura 1b), alcanzando una profundidad efectiva de raíces de 30 cm dentro del perfil de suelo.

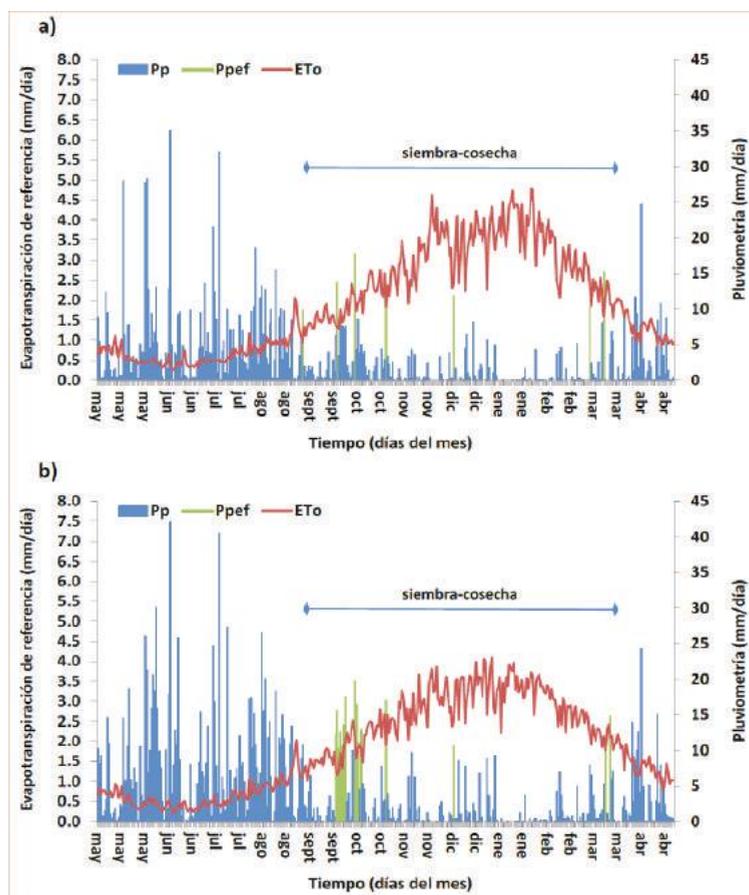


Figura 1. Valores promedio diarios de la evapotranspiración de referencia (ET_o), pluviometría efectiva y total de las tres temporadas evaluadas en la localidad de INIA Carillanca (a) y Tranapunte (b). Fuente: Rafael López-Olivari (INIA Carillanca)

La cantidad de lluvia promedio efectiva y total desde siembra a cosecha fue de 15 y 374 mm para las tres temporadas en la localidad de INIA Carillanca, respectivamente. Mientras que en la localidad de Tranapunte estos valores fueron de 37 y 425 mm, respectivamente. Así, los eventos de lluvia que no superen los 11 mm no se consideran como aporte de agua natural entre siembra a cosecha en ambas localidades.

Otro aspecto relevante es que la evapotranspiración de referencia (ET_o) en la localidad de INIA Carillanca fue mayor (4,78 mm/día) a la registrada en la localidad de Tranapunte (4,1 mm/día) (Figura 1a y 1b), alcanzando ambos los valores más altos en enero y coincidiendo con uno de los períodos críticos del cultivo (final del llenado de grano para INIA Carillanca y pleno llenado de grano para Tranapunte). La ET_o acumulada promedio desde siembra (septiembre) a cosecha (marzo) para las tres temporadas, fue de 546 mm en la localidad de INIA Carillanca, mientras que en la localidad de Tranapunte en el mismo período fue de 510 mm. Lo anterior indica que existe una mayor demanda hídrica en la localidad de INIA Carillanca (más seca) que en la localidad de Tranapunte (menos seca).

8.2.4 Fenología de la quínoa

La fenología es el período en la cual se van cumpliendo las diferentes etapas o fases de crecimiento y desarrollo de un cultivo. El ciclo de las plantas cambia con el genotipo y con los factores edafoclimáticos, es decir, las plantas de un mismo genotipo sembradas bajo diferentes condiciones ambientales pueden presentar desfases en los estados de desarrollo bajo un mismo tiempo cronológico. Así, el uso de escalas fenológicas se utiliza básicamente para realizar observaciones y hacer prácticas de manejo agronómico específicas en una etapa de desarrollo del cultivo para mejorar un determinado objetivo productivo. La fenología de la quínoa fue seguida desde siembra a cosecha con registro fotográfico durante las tres temporadas agrícolas y después fueron extrapoladas a la escala BBCH (Sosa-Zuñiga *et al.*, 2017). Las principales etapas de crecimiento y desarrollo de la quínoa se pueden observar en la figura 2, mientras que la descripción general de las etapas fenológicas para los dos genotipos evaluados en las localidades de INIA Carillanca y Tranapunte evaluadas para las tres temporadas agrícolas se muestran en el cuadro 2. En este contexto, el genotipo CQU 386 presenta un ciclo fenológico más largo que la variedad Regalona Baer, donde a partir del estado panoja emergida el genotipo CQU 386 empieza alargar su ciclo de desarrollo. Además, existe un traslape entre las etapas fenológicas de desarrollo de hojas-formación de yemas laterales y aparición de panícula. Así, el rango promedio del período fenológico completo de la variedad Regalona Baer y el genotipo CQU 386 fueron aproximadamente de 147 y 161 días, respectivamente. Por su parte, en la localidad de Tranapunte se observaron casi los mismos patrones que en la localidad de INIA Carillanca, donde el genotipo CQU 386 presenta un ciclo de desarrollo más largo comparado a la variedad Regalona Baer, alargando sus estados desde inicio de floración hacia adelante. Al comparar las dos localidades se puede observar que hubo un desfase de dos semanas aproximadamente

en las ocurrencias de las etapas fenológicas en ambos genotipos. Sin embargo, en la localidad de Tranapunte los estados de crecimiento vegetativo se concentraron principalmente en el mes de octubre, mientras que en la localidad de INIA Carillanca estuvieron entre octubre y noviembre. Por su parte las etapas de desarrollo de la quínoa se extendieron por más tiempo en la localidad de Tranapunte presentándose entre noviembre y enero, mientras que en la localidad de INIA Carillanca se concentraron principalmente entre la segunda semana de noviembre y casi todo el mes de enero. Lo anterior puede estar asociado a variables climáticas (temperatura y precipitaciones), fechas de siembra y fotoperíodo de los materiales (Lozano y Rubiano, 2007). Pero, específicamente el llenado de grano (entre cuajado y grano maduro o seco) en la localidad de INIA Carillanca ocurre aproximadamente desde la segunda semana de diciembre hasta la segunda semana de enero para la variedad Regalona Baer, mientras que para el genotipo CQU 386 esta etapa ocurre entre la tercera semana de diciembre y la primera semana de febrero.

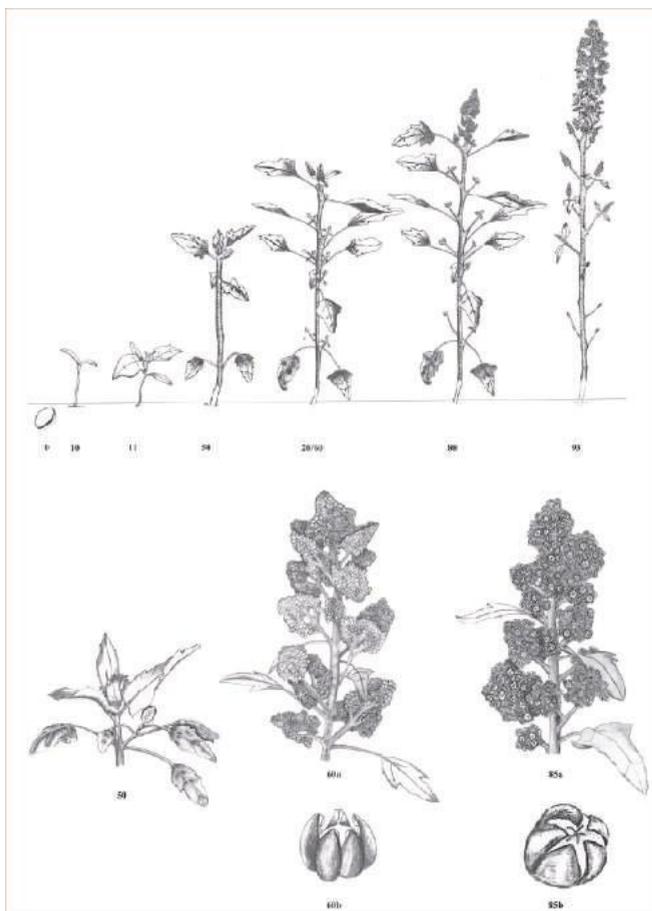


Figura 2. Etapas generales de crecimiento y desarrollo del cultivo de quínoa. 0: Germinación; 10: Cotiledones completamente emergidos; 11: Primer par de hojas visibles; 20: Yemas laterales visibles; 50: Inflorescencia presente pero envuelta por hojas; 60: Inicio antesis; 80: Maduración del grano (grano lechoso-seco); 85: Contenido de grano acuoso-pastoso; 93: Hojas de la primera mitad de abajo empiezan a caer. (Sosa-Zuñiga et al., 2017)

Lo anterior indica que el genotipo CQU 386 es más tardío que la variedad Regalona Baer en ambas localidades evaluadas. Para la localidad de Tranapunte el llenado de grano de la quínoa se encuentra aproximadamente entre la tercera semana de diciembre y la segunda semana de febrero para la variedad Regalona Baer. Sin embargo, para el genotipo CQU 386 esta etapa ocurre entre la cuarta semana de diciembre y la tercera semana de febrero. Así, los altos rendimientos observados en ambos genotipos de quínoa en la localidad de Tranapunte pudo deberse a la mayor duración entre las etapas de cuajado y grano maduro por las condiciones edafoclimáticas (menos seco), teniendo la planta más tiempo para llenar el grano comparado a la localidad de INIA Carillanca (más seco).

Cuadro 2. Rangos promedios mensuales de las principales etapas de crecimiento y desarrollo de la quínoa para la variedad Regalona Baer y el genotipo CQU 386 en las localidades de INIA Carillanca (Valle central) y Tranapunte (Costa)

		Meses																							
		Localidad de Catrillanca																							
		Sept			Oct			Nov			Dic			Ene			Feb			Mar					
Genotipo	Descripción general	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Regalona BAER	Siembra - emergencia																								
	Emergencia - desarrollo de hojas																								
	Desarrollo de hojas - formación de brotes																								
	Formación de brotes - panoja emergida																								
	Panoja emergida - Inicio de floración																								
	Inicio de floración - Cuajado																								
	Cuajado - grano lechoso																								
	Grano lechoso - grano maduro (listo para cosechar)																								
	Grano maduro - inicio senescencia (planta quínoa)																								
Ecotipo CQU 386	Siembra - emergencia																								
	Emergencia - desarrollo de hojas																								
	Desarrollo de hojas - formación de brotes																								
	Formación de brotes - panoja emergida																								
	Panoja emergida - Inicio de floración																								
	Inicio de floración - Cuajado																								
	Cuajado - grano lechoso																								
	Grano lechoso - grano maduro (listo para cosechar)																								
	Grano maduro - inicio senescencia (planta quínoa)																								

		MESES																							
		Localidad de Tranapunte																							
		Sept			Oct			Nov			Dic			Ene			Feb			Mar					
Genotipo	Descripción general	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Regalona BAER	Siembra - emergencia																								
	Emergencia - desarrollo de hojas																								
	Desarrollo de hojas - formación de brotes																								
	Formación de brotes - panoja emergida																								
	Panoja emergida - Inicio de floración																								
	Inicio de floración - Cuajado																								
	Cuajado - grano lechoso																								
	Grano lechoso - grano maduro (listo para cosechar)																								
	Grano maduro - inicio senescencia (planta quínoa)																								
Ecotipo CQU 386	Siembra - emergencia																								
	Emergencia - desarrollo de hojas																								
	Desarrollo de hojas - formación de brotes																								
	Formación de brotes - panoja emergida																								
	Panoja emergida - Inicio de floración																								
	Inicio de floración - Cuajado																								
	Cuajado - grano lechoso																								
	Grano lechoso - grano maduro (listo para cosechar)																								
	Grano maduro - inicio senescencia (planta quínoa)																								

8.2.5 Programación de riego en quínoa

La programación del riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de riego a aplicar durante todo el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El fin, optimizar y ser eficaces en el uso del agua para maximizar la producción y calidad del objetivo productivo (principalmente rendimiento en grano). Para determinar de manera más precisa los requerimientos hídricos de la quínoa, es necesario obtener información específica del suelo, la planta, el clima y el método de riego (Figura 3). Una vez que se interacciona la información se puede definir la cantidad de agua a aplicar (tiempo de riego) y en qué momento aplicarla (frecuencia de riego), durante las diferentes etapas fenológicas de la quínoa.

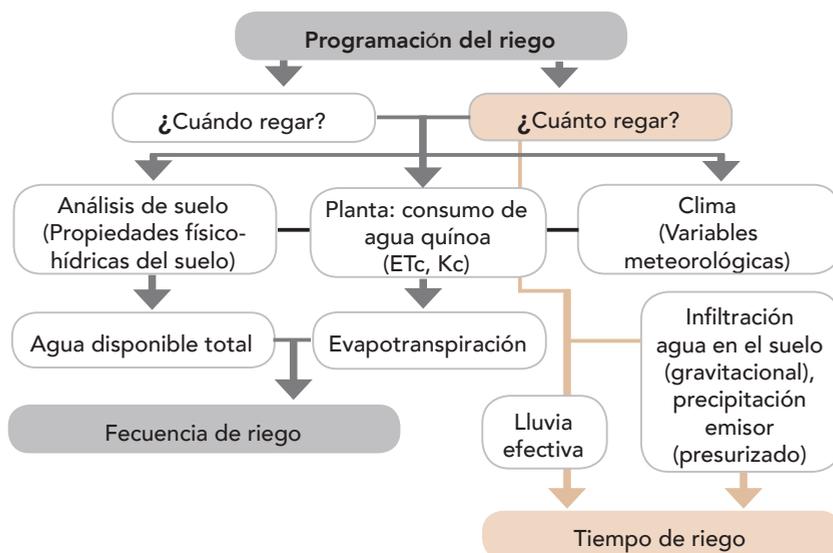


Figura 3. Diagrama de flujo programación de riego en el cultivo de la quínoa considerando la interacción del suelo-planta-clima, lluvia efectiva y método de riego. Fuente: modificado de López-Olivari, 2016.

La **frecuencia de riego** (Fr) se refiere al momento que debe ser aplicado el agua de riego o cada cuántos días regar el cultivo de quínoa. Para determinar el momento del riego hay que considerar el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Agua disponible total por las plantas), hasta profundidad efectiva de raíces. Lo anterior depende de variables climáticas (Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y precipitación), de cultivo (Períodos fenológicos de la quínoa), de suelo (Textura y propiedades físico-hídricas del suelo) y del manejo agronómico (Densidad de siembra, preparación de suelo, entre otros). Además de calcular la frecuencia de riego matemáticamente, existe la posibilidad de utilizar como un indicador sensores de humedad (Foto 3 a y b), instalados en la zona efectiva de raíces. Estos sensores fueron utilizados en las dos localidades para determinar las frecuencias de riego. Finalmente, la otra forma es verificar de una manera

visual o empírica a través del uso de un barreno o pala después de haber aplicado un riego o después de una lluvia intensa, observando si el agua aplicada (agua de riego o lluvia) ha llegado a la profundidad efectiva de raíces del cultivo.



Foto 3. Sensores de humedad de suelo instalados en los ensayos de riego. a) Tranapunte, b) INIA Carillanca. Fuente: Rafael López-Olivari (INIA Carillanca)

Los registros de los sensores de humedad de suelo instalados en las dos localidades para controlar las frecuencias de riego se pueden observar en el gráfico 2. Se puede apreciar que en la localidad de INIA Carillanca (Figura 4 a) se tuvo que realizar más cantidades de riego que en la localidad de Tranapunte (Figura 4 b), debido principalmente a condiciones edafoclimáticas. Adicionalmente, desde siembra a cosecha se registraron 9, 10 y 3 eventos de lluvia efectiva sobre 11 mm para INIA Carillanca durante las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente. Mientras que para Tranapunte se registraron 10, 8 y 12 eventos sobre 11 mm para las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018. Hay que considerar que las frecuencias de riego fueron variables en el tiempo, ya que dependen del agotamiento del agua en el suelo.

En general, las frecuencias de riego para quinoa estarían entre 5 – 8 días para la localidad de INIA Carillanca y entre 10 – 20 días para la localidad de Tranapunte, dependiendo de los aportes de agua lluvia en cada zona.

Al comparar los registros de la humedad presente en el suelo se puede observar claramente que a pesar de tener la misma textura de suelo en las dos localidades existe una mayor acumulación y persistencia de la humedad en el suelo para la localidad de Tranapunte, debido a que presenta menor cantidad de arena (Cuadro 1). En general, estos gráficos presentan variables que permiten manejar la frecuencia de los riegos con solo tener información de las propiedades físico-hídricas del suelo. En este caso se definió que cuando existiera una pérdida de humedad del suelo de un 61% de la humedad aprovechable total (HA), HA es la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), correspondería regar el cultivo de quinoa. Este 61% de pérdida de la HA es el "Umbral de Riego o Criterio de riego" (Línea

punteada de las Figuras 4a y 4b). Esta gran pérdida de humedad está dada porque el cultivo de quínoa es una especie que se adapta bastante bien a la escasez hídrica, por lo que se acepta que estando en esta condición no habría estrés hídrico (García, 2003; Geerts *et al.*, 2008a; Geerts *et al.*, 2009). Adicionalmente, se puede decir que el cultivo de quínoa presenta una mejor respuesta en crecimiento y desarrollo en la localidad de Tranapunte comparado a la localidad de INIA Carillanca, debido probablemente a la interacción existente entre las relaciones de suelo-planta-clima.

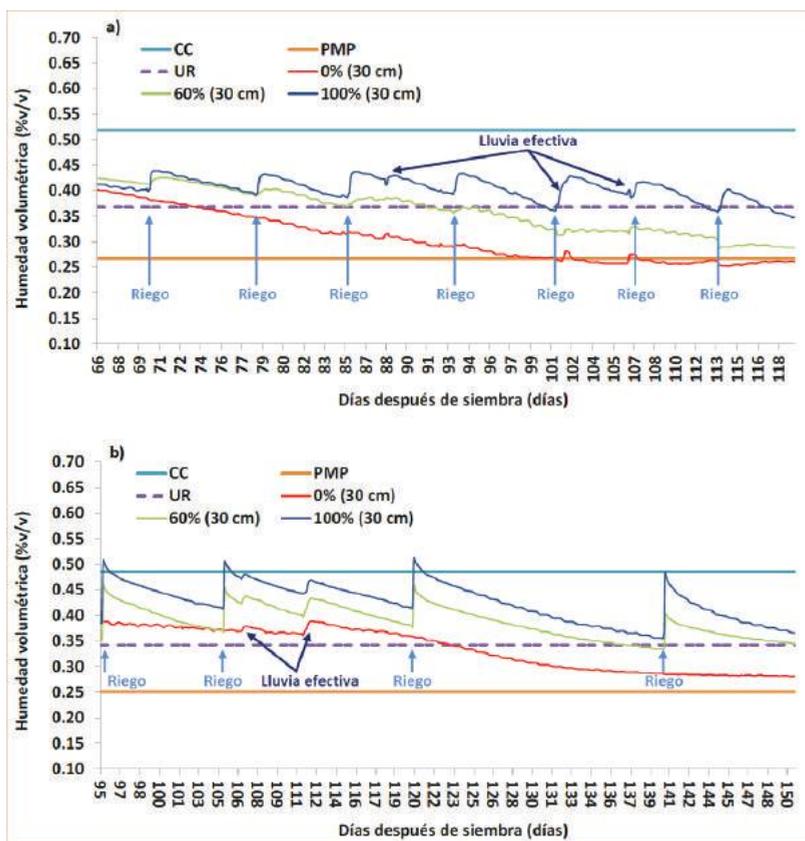


Figura 4. Extracto del comportamiento de la humedad volumétrica de suelo durante la temporada de crecimiento y desarrollo de la quínoa en las localidades de INIA Carillanca (a) y Tranapunte (b). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; UR: Umbral de riego; 100% (Bien regado); 60% (Aplicación 60% del bien regado) y 0% (Secano). Número entre paréntesis representa la profundidad efectiva de raíces. Fuente: Rafael López Olivari, 2016

El **Tiempo de Riego** (T_r) es el período de tiempo que debe permanecer el agua pasando por un surco de riego, goteando o asperjando sobre el suelo para que penetre hasta la profundidad efectiva de raíces. También se puede definir como el tiempo (número de horas o minutos) en que el agua debe escurrir sobre el suelo para que pueda infiltrar y mojar la zona radicular efectiva. Para las zonas en donde existe aporte de lluvias en los períodos de crecimiento y desarrollo de la quínoa deben ser

consideradas, ya que un porcentaje de los requerimientos de agua pueden ser suplidos por estas lluvias. Los tiempos de riego (T_r) pueden ser determinados utilizando varias expresiones o ecuaciones, dependiendo del tipo de método de riego que se utilice. Así, para calcular el tiempo de riego es necesario conocer los mm de agua que la quínoa pierde por la demanda atmosférica (evapotranspiración de cultivo; mm/día) o los mm de agua que se deben reponer a una profundidad efectiva de raíces (lámina bruta; mm) y dividirlo por la precipitación del equipo de riego en mm/h (considerar la eficiencia de aplicación del sistema).

Durante las tres temporadas agrícolas evaluadas se utilizó un sistema de riego por goteo, donde en cada hilera se instalaron líneas de riego con goteros auto-compensados (goteros que descargan lo mismo entre un rango de presión que se encuentra aproximadamente entre 1 a 3 bares) espaciados a 0,33 m. La descarga de los goteros usados fue de 2 y 1,2 l h⁻¹ para los tratamientos de bien regado y aplicación de un 60% del agua del bien regado, respectivamente. En este caso los tiempos de riego fueron fijos para reponer la cantidad de humedad perdida entre el umbral de riego (UR) y capacidad de campo (CC). Así, los T_r usados fueron de 2 horas y 50 min (aplicación de 37,7 mm) en la localidad de INIA Carillanca, mientras que 3 horas 10 min (43,2 mm) fue el T_r en la localidad de Tranapunte. Además, los T_r pueden ser determinados de manera empírica a través de la aplicación de agua de riego en una cantidad de tiempo específica y verificar con alguna herramienta de campo si el agua aplicada pudo humedecer o no la zona efectiva de raíces.

8.2.6 Requerimientos hídricos en el cultivo de quínoa

Las cantidades de agua que necesita el cultivo de quínoa no están bien definidas en el mundo dado que es un cultivo sembrado principalmente en secano. Sin embargo, como no se sabe las potenciales respuestas que pueda tener este cultivo a la aplicación de agua, especialmente en el sur de Chile, es necesario tener datos cuantificados de las necesidades hídricas. Así, la información presentada en este capítulo puede servir potencialmente como una guía para manejar y optimizar el agua de riego para los agricultores y productores que tengan acceso al riego en el cultivo de quínoa. En el cuadro 3 se muestra la cantidad de agua que ha sido aplicada por las lluvias efectivas, los riegos de acuerdo a los criterios entregados previamente y el requerimiento hídrico total por temporada. En general, las cantidades promedios de agua aplicada total (riego + lluvia efectiva) en el cultivo de quínoa en la localidad de INIA Carillanca para las tres temporadas evaluadas fueron de 2.808 y 1.860 m³ ha⁻¹ para los tratamientos de bien regado y 60% del bien regado, respectivamente. Sin embargo, las cantidades promedios de agua aplicada al cultivo para la localidad de Tranapunte fueron de 2.303 y 1.741 m³ ha⁻¹ para los tratamientos bien regado y 60% del bien regado, respectivamente. Adicionalmente, en la localidad de Tranapunte se aplicaron en promedio un 18 y 6,4% menos de agua para los tratamientos bien regado y 60% del bien regado comparado a INIA Carillanca, respectivamente.

Cuadro 3. Requerimientos hídricos totales de agua (riego + lluvia efectiva) según el balance hídrico de suelo durante todo el período de crecimiento y desarrollo del cultivo de quínoa para las localidades de INIA Carillanca y Tranapunte

Localidad/ temporada	Agua aplicada por riego (m ³ ha ⁻¹)	Agua aplicada por lluvia efectiva (m ³ ha ⁻¹)	Requerimiento hídrico total (m ³ ha ⁻¹)
INIA Carillanca			
2015-2016	2.045 (bien regado)	552	2.597
	1.227 (60% bien regado)	552	1.779
2016-2017	2.045 (bien regado)	696	2.741
	1.227 (60% bien regado)	696	1.923
2017-2018	3.018 (bien regado)	68	3.086
	1.811 (60% bien regado)	68	1.879
Tranapunte			
2015-2016	1.193 (bien regado)	1.173	2.366
	716 (60% bien regado)	1.173	1.889
2016-2017	1.295 (bien regado)	1.098	2.393
	777 (60% bien regado)	1.098	1.875
2017-2018	1.727 (bien regado)	422	2.149
	1.036 (60% bien regado)	422	1.458

Así, en un cultivo de quínoa en condiciones del altiplano se ha obtenido aplicaciones de agua de riego cercano a las 2.503 m³ ha⁻¹ bajo condiciones bien regadas (García *et al.*, 2003), mientras que en Turquía se han aplicado valores de agua de riego total entre 1.400 y 3.200 m³ ha⁻¹ (Kaya and Yazar, 2016) y entre 3.200 y 3.830 m³ ha⁻¹ (Lavini *et al.*, 2014) para una condición de bien regado. Sin embargo, en Egipto han encontrado buenos rendimientos con aplicaciones de agua por surco entre 3.955 y 6.921 m³ ha⁻¹ (Algozaibi *et al.*, 2017), mientras que en Bolivia han aplicado 5.480 m³ ha⁻¹ bajo condición de bien regado (Geerts *et al.*, 2008b). Así, las cantidades de agua de riego aplicada en los ensayos en ambas localidades estarían dentro de los promedios existentes en la literatura mundial.

Por otro lado, el agua aplicada por lluvia efectiva fue mucho más alta en la localidad de Tranapunte, por lo que el agua aplicada de manera artificial a través del riego fue bastante menor para ambos tratamientos, comparado a la localidad de INIA Carillanca. Lo anterior indica que en la localidad de Tranapunte se debe aplicar la mitad del agua de riego (sector costa) que en la localidad de INIA Carillanca (sector valle central) pero teniendo siempre en cuenta el aporte natural de las lluvias efectivas. Para la localidad de INIA Carillanca los riegos debieran comenzar a partir de noviembre (estado fenológico desarrollo de hojas) y terminar el riego aproximadamente entre 10 y 15 días antes del estado fenológico de grano maduro (Cuadros 2 y 4). En Tranapunte los riegos debieran empezar a fines de noviembre (estado fenológico panoja emergida – inicio floración) y terminar aproximadamente entre 10 y 15 días antes de la etapa grano maduro.

Cuadro 4. Número de riegos durante todo el crecimiento y desarrollo del cultivo de quínoa para las localidades de INIA Carillanca y Tranapunte

Localidad/ temporada	Número de riegos por mes						
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
INIA Carillanca							
2015-2016	-	-	-	2	3	-	-
2016-2017	-	-	1	3	1	-	-
2017-2018	-	-	1	4	3	-	-
Rango	-	-	0 a 1	2 a 4	1 a 3	-	-
Tranapunte							
2015-2016	-	-	-	1	2	1	-
2016-2017	-	-	-	2	1	-	-
2017-2018	-	-	-	2	1	1	-
Rango	-	-	-	1 a 2	1 a 2	0 a 1	-

8.2.7 Rendimiento de grano y riego deficitario en el cultivo de quínoa

Los rendimientos de grano para el cultivo de quínoa obtenidos para las diferentes temporadas agrícolas en la localidad de INIA Carillanca y Tranapunte se muestran en los cuadros 5 y 6. Así, en la localidad de INIA Carillanca y para una condición de bien regado (T1), déficit hídrico (T2) y seco (T3) se pueden obtener valores de rendimiento promedio de 3,8, 3,4 y 2,4 t ha⁻¹, respectivamente. Mientras que para la localidad de Tranapunte valores de rendimiento promedio de 5,2, 4,5 y 3,8 t ha⁻¹ para T1, T2 y T3, respectivamente. Así, los valores más altos en rendimiento fueron observados para la condición de bien regado y los valores más bajos fueron observados bajo una condición de agua de lluvia (secano) en ambos ambientes. Sin embargo, para la variedad Regalona Baer y el genotipo CQU 386 se pudo obtener para ambos genotipos un valor de rendimiento promedio de todos los niveles hídricos de 3,2 y 4,5 t ha⁻¹ para la localidad de INIA Carillanca y Tranapunte, respectivamente. Además, el rendimiento de grano podría ser el mismo o levemente inferior con un 40% menos de agua aplicada al cultivo de quínoa, siendo más marcado durante la temporada 2016-2017 (Cuadros 5 y 6).

Estudios de riego deficitario han mostrado que reduciendo el agua hasta un 50% del bien regado no tiene efecto sobre el rendimiento de la quínoa (Pulvento *et al.*, 2012; Razzaghi *et al.*, 2012). Respecto a la interacción entre los tratamientos de riego aplicados y los genotipos utilizados, no fueron estadísticamente significativos en ninguna de las tres temporadas agrícolas evaluadas en la localidad de INIA Carillanca, pero si hubo una interacción en la temporada 2015-2016 para la localidad de Tranapunte (Figura 5). Claramente, el genotipo CQU 386 presenta una mayor ganancia en rendimiento de grano en la localidad de Tranapunte, alcanzando porcentajes de 44, 26 y 24% comparado a la variedad Regalona Baer para los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente. Finalmente,

se puede observar que la variedad Regalona Baer fue más estable en el rendimiento de grano durante las tres temporadas agrícolas y para todos los tratamientos de riego aplicados comparado al Genotipo CQU 386 en ambas localidades. Este comportamiento de estabilidad fue observado en la zona central de Chile para materiales de quínoa del grupo "ecotipo de la costa" BAER y BAER II (Garrido *et al.*, 2013). Además, rendimientos entre 2 y 2,5 t ha⁻¹ se han alcanzado en Egipto bajo condiciones de riego (Algozaibi *et al.*, 2017). Así, García *et al.* (2003) y Geerts *et al.* (2008b) observaron valores entre 2,1 a 2,9 y 3,7 t ha⁻¹ en Bolivia para condiciones de bien regado y riego deficitario, respectivamente. En la zona central de Chile, se han obtenido rendimientos entre 1,9 y 2,2 t ha⁻¹ bajo condiciones de riego (Garrido *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Rendimiento en grano a cosecha del cultivo de quínoa para los diferentes niveles hídricos y genotipos para la localidad de INIA Carillanca durante las tres temporadas agrícolas evaluadas

Tratamientos / riego promedio	Temporadas		
	2015-2016	2016-2017	2017-2018
	Rendimiento (t ha ⁻¹)		
Niveles de humedad de suelo (NH)			
T1 (bien regado) / 2.808 m ³ ha ⁻¹	4,6 a	3,1 a	3,8 a
T2 (60% de T1) / 1.860 m ³ ha ⁻¹	3,9 ab	3,1 a	3,1 ab
T3 (secano) / 439 m ³ ha ⁻¹	3,6 b	1,8 b	1,8 b
Significancia	*	**	***
Variedad y genotipo (VE)			
CQU 386	4,5 a	2,6	2,5 b
Regalona Baer	3,6 b	2,7	3,4 a
Significancia	**	n.s.	***
NHxVE			
Significancia	n.s.	n.s.	n.s.

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Tukey con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$). ANDEVA (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.: no significativo).

Cuadro 6. Rendimiento en grano a cosecha del cultivo de quínoa para los diferentes niveles hídricos y genotipos para la localidad de Tranapunte durante las tres temporadas agrícolas evaluadas

Tratamientos / riego promedio	Temporadas		
	2015-2016	2016-2017	2017-2018 ^{&}
	Rendimiento (t ha ⁻¹)		
Niveles de humedad de suelo (NH)			
T1 (bien regado) / 2.303 m ³ ha ⁻¹	5,6 a	5,2 a	4,8
T2 (60% de T1) / 1.741 m ³ ha ⁻¹	4,7 ab	5,0 ab	3,9
T3 (secano) / 898 m ³ ha ⁻¹	3,9 b	4,5 b	2,9
Significancia	**	*	n.s.
Variedad y genotipo (VE)			
CQU 386	5,7 a	5,4 a	2,4 b
Regalona Baer	3,8 b	4,4 b	5,4 a
Significancia	***	***	***
NHxVE			
Significancia	*	n.s.	n.s.

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Tukey con un nivel de confianza $p < 0,05$. ANDEVA (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s.: no significativo). &: Para el caso de la última temporada hubo problemas con la germinación de los genotipos.

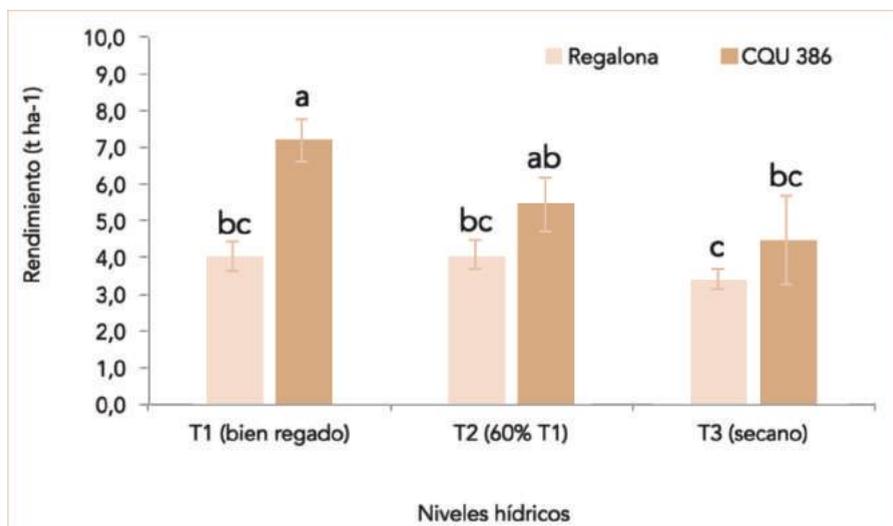


Figura 5. Respuesta del rendimiento de grano en el cultivo de quínoa entre los tratamientos de riego aplicados y los genotipos utilizados para la temporada 2015/2016 de acuerdo al cuadro 6 (López-Olivari y Díaz, 2017)

8.3 Conclusiones

Teniendo en cuenta estos antecedentes se puede concluir que para las condiciones de costa y valle central en la Región de La Araucanía, la quínoa presenta valores de rendimiento bajo condiciones de riego muy superiores a las observadas en algunas partes del mundo y en Chile central. Lo anterior indica que el cultivo bajo riego tiene un alto potencial de rendimiento en las condiciones edafoclimáticas estudiadas.

Referencias Bibliográficas

- Algozaibi., A.A., Badran, A.E., Almadini, A.M. & El-Garawany, M.M. 2017. The Effect of Irrigation Intervals on the Growth and Yield of Quinoa Crop and Its Components. *Journal of Agricultural Science*. 9(9), 182 – 192.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, 300 p.
- Cortés, A. y Rubiano, A. 2007. Caracterización de tres ecotipos de Quinoa "*Chenopodium quinoa* Willd" mediante técnicas agroecológicas, en dos zonas agroclimatológicamente diferentes del Departamento de Cundinamarca. *Revista Inventum*, 4(2):89-101.
- Fuentes, F., Martínez, E. A., Hinrichsen, P. V., Jellen, E. N. and Maughan, P. J. 2009. Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics* 10(2), 369-377.
- García, M. 2003. Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. *Dissertations de Agriculture, Faculty of Applied Biological Sciences, K.U. Leuven, Belgium*. 556. p. 184.
- García, M., Raes, D. and Jacobsen, S-E. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*. 60, 119–134.
- Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C. y Acevedo, E. 2013. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *IDESIA (Chile)*. 31(2), 69-76.
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Mendoza, J. and Huanca, R. 2008a. Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. *Field Crops Research*. 108, 150–156.
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J. and Taboada, C. 2008b. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Europ. J. Agronomy*. 28, 427–436.
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V., Steduto, P., 2009. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 499–508.

- Kaya, Ç. and Yazar, A. 2016. SALTMED model performance for quinoa irrigated with fresh and saline water in a Mediterranean environment. *Irrigation and Drainage*. 65, 29–37.
- Lavini, A., Pulvento, C., d'Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Belhabib, O., Yazar, A., Incekaya, Ç., Metin Sezen, S., Qadir, M. and Jacobsen, S-E. 2014. Quinoa's Potential in the Mediterranean Region. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200, 344 – 360.
- López-Olivari, R. 2016. Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el sur de Chile: conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Carillanca. 156 pp.
- López-Olivari, R. y Díaz, J. 2017. Respuesta de la Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) al déficit hídrico en un clima templado del sur de Chile. In: MINAGRI (INIA, DGA), FAO, UNALM (Eds.), Resúmenes de exposiciones del VI Congreso Mundial de la Quínoa y III Simposio Internacional de Granos Andinos, Lima, Perú, 21-24 de marzo 2017, pp 30.
- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E. and d'Andria, R. 2012. Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *J Agro Crop Sci*. 198, 254–263.
- Razzaghi, F., Ahmadi, S.H., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. and Andersen, M.N. 2012. Effects of salinity and soil-drying on radiation use efficiency, water productivity and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *J. Agro Crop Sci* 198:173–184.
- Sosa-Zuñiga, V., Brito, V., Fuentes, F. and Steinfert, U. 2017. Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. *Ann Appl Biol*. 171, 117-124.

A group of about ten people, mostly men wearing hats and casual clothing, are standing in a field of tall, golden-brown quinoa plants. They appear to be engaged in a field visit or a discussion. The background shows a clear blue sky with scattered white clouds. The quinoa plants are in various stages of maturity, with some showing reddish stems and others being more golden.

Capítulo 9

ANTECEDENTES DE MERCADO, COSTOS Y RENTABILIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA QUÍNOA EN LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

Luis Torralbo B.
Jorge Díaz S.
Arturo Morales M.
Ivette Seguel B.
Mario Mera K.
Rafael López O.
Rafael Galdames G.
Ricardo Campillo R.

9.1 Antecedentes Generales

Un antecedente clave para la toma de decisiones de los agricultores es conocer los costos de producción y las utilidades que generan los cultivos anuales. Este análisis permite informarse sobre la o las tecnologías estándar utilizadas para cada edafoclima. Por otra parte, esta evaluación debe ser revisada permanentemente, dado que, tanto los costos de producción por ítem específico, así como los insumos y labores culturales cambian, y por lo tanto la tecnología de cultivo debe ser ajustada y la rentabilidad recalculada. Lamentablemente, hasta julio de 2018 los antecedentes que disponen los agricultores en el sur de Chile respecto del cultivo de la quínoa provienen de investigaciones generadas principalmente en otros países de América del Sur (Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina) o de otras zonas del país, con sistemas productivos no aplicables para La Araucanía.

Pero antes de analizar y revisar los nuevos antecedentes de costos y marginalidad por hectárea recientemente generados en la Región de La Araucanía, es necesario explorar el por qué la quínoa se ha hecho tan interesante como cultivo en los últimos años. Sin duda, esto se debe a la suma de atributos que se han ido recopilando con el tiempo en dicho cultivo, gracias a la información generada por diversas investigaciones. Los aspectos nutricionales y las tendencias de alimentación saludable pudieran ser las principales responsables que la quínoa sea una alternativa comercial de alcance global.

Peláez y Zamudio (2014) citando a Herrera, señalan que la quínoa ha adquirido importancia internacional por ser uno de los pocos alimentos de origen vegetal que es rico en proteínas y posee todos los aminoácidos esenciales para el ser humano. Estos mismos autores citando a Figueroa, señalan que la quínoa por ser un producto con un alto valor nutritivo, con una mayor proporción de aminoácidos y minerales esenciales para la alimentación humana, además por su bajo nivel de gluten, la convierten en un producto muy cotizado por los mercados internacionales. En el cuadro 1, Vásquez (2015) da a conocer los contenidos nutricionales de la quínoa y tres cereales, reafirmando lo señalado anteriormente.

Según Vásquez (2015) los resultados comparativos muestran que la quínoa es un alimento con mayor contenido proteico, calcio, fósforo, hierro, riboflavina y niacina, situación que lo hace esencial para el consumo humano. El cuadro 2 entrega el detalle de los nutrientes de la quínoa.

La quínoa ha sido uno de los productos de mayor dinamismo en el comercio mundial en los últimos años. Tal ha sido este dinamismo, que en el 2012 se creó una sub partida arancelaria específica para esta especie. Las perspectivas de oferta y demanda apuntan a que continúe el crecimiento del comercio internacional de la quínoa en el futuro (Furche et al., 2014).

Cuadro 1. Contenidos nutricionales de la quínoa versus tres cereales (trigo, maíz y cebada) por cada 100 gramos de producto

Componente	Unidad	Quínoa	Trigo	Maíz blanco de la sierra	Cebada cruda
Humedad	g	13,1	14,2	128	10,7
Calorías	Kcal	353	354	357	350
Proteínas	g	14,2	13	7,7	10
Extracto Etéreo	g	4,1	1,7	4,8	2,1
Carbohidratos Totales	g	66,2	69,6	73,3	75,3
Fibra	g	3,9	2,9	1,6	3,3
Ceniza	g	2,4	1,5	1,4	1,9
Calcio	mg	68	54	8	37
Fósforo	mg	430	340	93	318
Hierro	mg	6,6	3,7	2,4	5,6
Caroteno	mg	0,03	0,01	0,06	0
Tiamina	mg	0,35	0,56	0,36	0,35
Riboflavina	mg	0,25	0,05	0,07	12
Niacina	mg	1,54	4,96	2,36	13,96

Fuentes: Vásquez (2015) a partir de Food and Drug Administration (2010)

Estos autores continúan señalando que las razones que explican este aumento en la demanda son diversas. Entre ellas, la alta calidad nutricional de la quínoa y sus derivados, la propensión hacia patrones de alimentación saludables, la revalorización de las culturas ancestrales, el hecho que sea un producto originado en pequeñas explotaciones campesinas y la condición mayoritariamente orgánica de la oferta. Las condiciones de acceso de la quínoa a los mercados internacionales, tanto regionales como globales, son igualmente favorables pues enfrentan bajos niveles de protección arancelaria y pocas restricciones de tipo fitosanitario.

Esposito y Tse (2014), señalan que los principales *drivers* (controladores – direccionadores) que han impulsado el crecimiento y desarrollo del mercado de la quínoa, están asociados al estilo de vida e indica que hay una cultura asociada a una mayor conciencia de la salud, destacando los siguientes conceptos:

- La obesidad se convirtió en un problema
- El boca a boca sobre los beneficios de salud / pérdida de peso
- Se presta atención a las alergias alimentarias (es decir, intolerancia al gluten)
- Los hábitos saludables y el producto orgánico se convierten en moda

Y continúan indicando que esto tiene como resultado las siguientes acciones:

- Cambio en las acciones de comportamiento hacia una forma de vida sostenible
- La demanda de una dieta y el consumo de alimentos más equilibrado en los Estados Unidos y la Unión Europea.

Cuadro 2. Contenido de nutrientes de quínoa

Nutrientes	Unidad	Valor por 100 g
Proximal		
Agua	g	13,28
Energía	kcal	368
Energía	kJ	1.539
Proteína	g	14,12
Lípidos totales (grasa)	g	6,07
Cenizas	g	2,38
Carbohidratos, por diferencia	g	64,16
Fibra, total dietaria	g	7
Almidón	g	52,22
Minerales		
Calcio, Ca	mg	47
Fierro, Fe	mg	4,57
Magnesio, Mg	mg	197
Fósforo, P	mg	457
Potasio, K	mg	563
Sodio, Na	mg	5
Zinc, Zn	mg	3,1
Cobre, Cu	mg	0,59
Manganeso, Mn	mg	2.033
Selenio, Se	µg	8,5
Vitaminas		
Tiamina	mg	0,36
Riboflavina	mg	0,318
Niacina	mg	1520
Ácido pantoténico	mg	0,772
Vitamina B-6	mg	0,487
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	22,39
Folato, total	µg	184
Betaína	mg	630,4
Luteína + zeaxantina	µg	163
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	2,44
Tocoferol, beta	mg	0,08
Tocoferol, gamma	mg	4,55
Tocoferol, delta	mg	0,35
Lípidos		
Ácidos grasos, total saturados	g	0,706
Ácidos grasos, total mono-insaturados	g	1.613
Ácidos grasos, total poli-insaturados	g	3.292

Fuente: Fuentes, F. y Paredes, G. (2014) citando a USDA

Por otra parte, Esposito y Tse (2014), señalan que otro de los factores macroeconómicos que dinamizan la demanda de la quínoa se asocia al poder de los medios para influir en la sociedad. Así, es habitual ver lo siguiente en los distintos medios:

- Personas de alto perfil, como celebridades y políticos muestran a la audiencia por qué cambian el estilo de vida
- Documentales que describen las consecuencias de ser obeso a través de historias reales
- Programa de televisión con instructores famosos
- Los anuncios de los medios se utilizan para “empujar” productos hacia nuevos mercados.

9.2 Producción y Comercio Mundial de Quínoa

En los últimos años se constata un progresivo aumento de la producción de quínoa, especialmente en los países que han sido tradicionalmente los principales productores: Bolivia, Perú y Ecuador, estimándose que más del 80% de la producción mundial se concentra en estos tres países, donde la quínoa ha sido parte de la base productiva y alimentaria de pueblos precolombinos (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2017).

Esta misma fuente continúa señalando que el 90% de la quínoa es producida por pequeños agricultores y se estima que existen al menos 70 mil pequeños productores solo en Bolivia, donde cada uno cultiva en torno a una hectárea. Al 2016, existían 96 países productores de quínoa con una producción anual de 195 mil toneladas, de los cuales 70 mil toneladas pertenecían a Perú, 60 mil a Bolivia y 10 mil a Ecuador, como muestra el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Quínoa cosechada en los principales países productores del mundo (Toneladas métricas de quínoa cruda)

País	2015		2016	
	Cantidad (Tm)	Proporción (%)	Cantidad (Tm)	Proporción (%)
Perú	107.380	45,9	70.000	36,0
Bolivia	88.000	37,6	60.000	31,0
Ecuador	15.000	6,4	10.000	5,0
Europa	13.000	5,6	20.000	10,0
India/China	4.200	1,8	15.000	8,0
Canadá	3.100	1,3	10.000	5,0
EE.UU	2.320	1,0	5.000	3,0
Australia	1.000	0,4	5.000	3,0
TOTAL	234.000	100,0	195.000	100,0

Fuente: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias citando a www.jiwra.com. (2017)

El comercio mundial de la quínoa ha experimentado un crecimiento significativo en el pasado reciente. A partir de 2006 se aceleran las exportaciones desde América Latina, región que alberga a los tres países andinos que contribuyen con más del 80% de las exportaciones mundiales. Este fenómeno ha determinado que la Organización Mundial de Aduanas haya introducido una apertura arancelaria para la quínoa, la sub partida 10.08.50. (Furche et al., 2014).

9.2.1 Principales Países Importadores de Quínoa

Según la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2017), los principales países importadores de quínoa son Estados Unidos, con una demanda de 34%, Países Bajos con 11%, y Canadá con 8% del volumen de importación global de 2016, tal como se detalla en la siguiente figura.

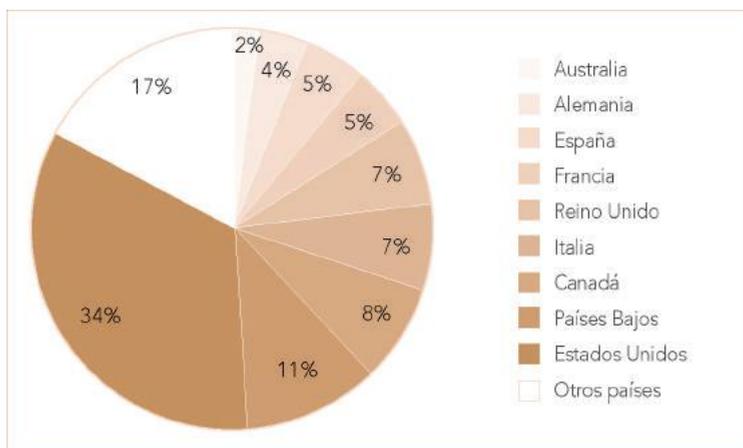


Figura 1. Importadores de quínoa el 2016 en el mundo

Fuente: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias citando a la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT) Perú (2017)

Un detalle importante es que según Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2017), en Sudamérica los principales importadores son Brasil con 578 toneladas y Argentina con 249 toneladas.

9.2.2 Origen de las exportaciones

Furche et al., (2014) señalan que el valor de las exportaciones ascendió a aproximadamente US\$131 millones el 2012, con una alta concentración tanto por origen como por destino. Así, el 82,4% de las exportaciones mundiales se originan en los países de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), en particular en tres países andinos: Bolivia, Ecuador y Perú. Los otros exportadores importantes son Estados Unidos (9,8%) y la Unión Europea (7,5%), aunque en estos dos casos gran parte de las ventas corresponden a reexportaciones (ODEPA citando a FAO (2016). Los principales orígenes de las exportaciones de quínoa del mundo se pueden apreciar en la figura 2.

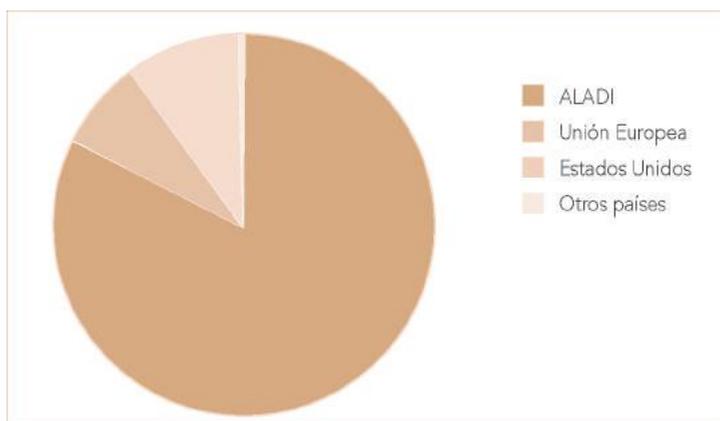


Figura 2. Principales exportadores mundiales de quinoa (2012)
 Fuente: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias citando a International Trade Statistics Database (Comtrade) y ALADI (2017)

Se necesita destacar que el ritmo de crecimiento de las exportaciones de quinoa se ha acelerado en los últimos años. Así, las ventas se multiplicaron por 4 entre 1992 y 2002, mientras que entre 2002 y 2012 lo hicieron por 39 (Furche et al., 2014). Esta misma referencia señala que medidas en volumen, las exportaciones de quinoa también experimentaron un fuerte incremento. En efecto, las mismas pasaron de 600 toneladas en 1992 a 37 mil toneladas en 2012, representando un crecimiento promedio anual del 22,8%.

En la figura 3, Pefaur (2018) con información de Trademap, grafica las exportaciones globales de quinoa entre los años 2012 y 2016, y se puede visualizar que éstas han crecido de manera constante en el período informado.

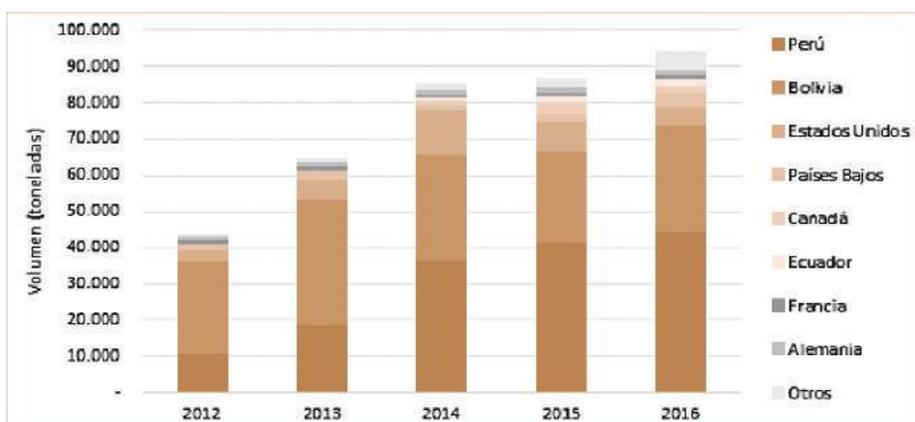


Figura 3. Principales países exportadores de quinoa, período 2012-2016
 Fuente: Pefaur (2018) con información de Trademap.

En el ámbito regional Furche *et al.*, (2014) señalan que la estructura de las exportaciones regionales de quínoa según origen se ha modificado moderadamente en los últimos 20 años, manteniendo a Bolivia como el principal exportador a pesar de disminuir su participación desde el 90 al 75%, seguido por Perú que ha aumentado su participación de un 6 a un 23%, en tanto que Ecuador ha disminuido su peso relativo. Lo anterior se esquematiza en la figura 4.

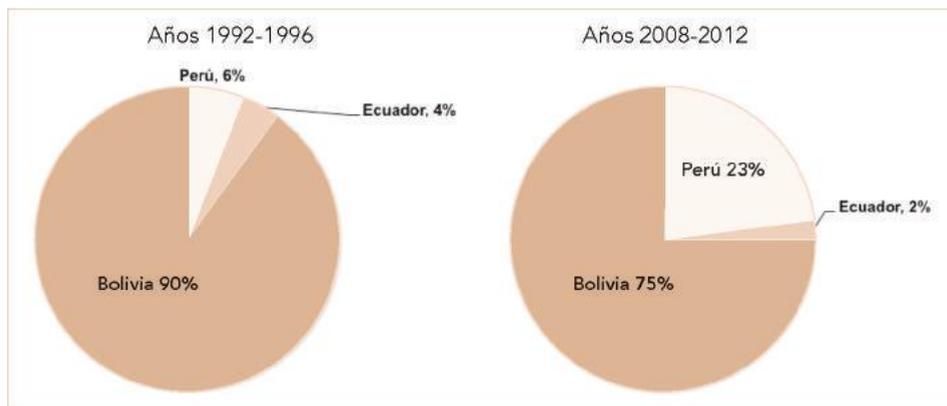


Figura 4. Origen de las exportaciones regionales de quínoa
Fuente: Furche *et al.*, 2014, a partir de Comtrade y ALADI.

9.2.3 Importaciones y exportaciones de Chile

En 1998 Chile importaba 1,5 toneladas y pasó a importar 319 toneladas el 2015. En los últimos años la quínoa importada por nuestro país proviene principalmente de Perú (93% del total importado en el 2015). Perú lidera las exportaciones hacia Chile desde el 2014, superando a Bolivia, quien había sido el principal origen de las exportaciones hacia Chile con un 64% del total importado, en el 2012 y 60% hasta noviembre de 2013. Estas importaciones se realizan bajo los códigos arancelarios 10085010, para la quínoa orgánica, y 10085090 para las demás quínoas (ODEPA, 2017). Según este mismo autor, además de ser un país importador, Chile exporta quínoa. En 2016 el principal destino fue Canadá, luego Bélgica y en menor medida, Alemania, Estados Unidos, Argentina y Bolivia. Por su cercanía con Bolivia, en el altiplano, se exporta de manera informal quínoa en bruto a este país y luego se importa quínoa procesada.

9.3 Precios

9.3.1 Precios en el contexto Internacional

Según Blanco (2014), en el escenario actual la demanda internacional por grano de quínoa ocasiona una elevación constante de los precios y todo indica que no bajarán. De acuerdo a Jacobsen, citado por este autor, los precios de la quínoa sin procesar se incrementaron desde US\$ 0,312 kg⁻¹ en el 2000 hasta US\$ 2,187 kg⁻¹ el 2008. Continúa señalando que el 2014 la quínoa a nivel internacional tenía un valor de US\$ 2500 a 3000 Tm⁻¹.

Durante 2013 y 2014 el precio internacional de la quínoa experimentó una fuerte alza, alcanzando un valor cercano a los US\$ 6 kg⁻¹ y un precio promedio interno en los 3 principales países exportadores de US\$ 4,2 (2013) y 5,6 (2014) kg⁻¹ (Figura 5). No obstante, durante el 2015 el precio internacional y regional experimentó una fuerte disminución en el precio, alcanzando los US\$ 5 dólares kg⁻¹ a nivel mundial y los US\$ 4,3; 3,4 y 3,9 kg⁻¹ en Bolivia, Perú y Ecuador, respectivamente. Durante el 2016 la disminución fue aún más marcada, llegando, por ejemplo, durante marzo en Bolivia un precio de US\$ 2,75 kg⁻¹ (FIA, 2017). En la figura siguiente se da a conocer la evolución de precios de la quínoa entre las temporadas 2011 y 2015.

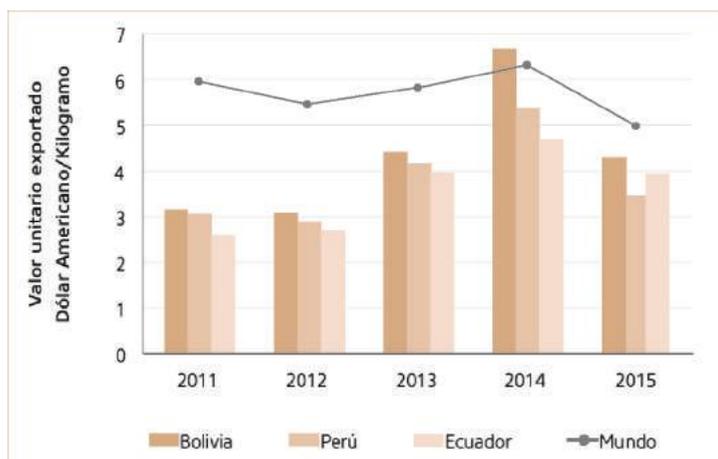


Figura 5. Evolución del precio de exportación de la quínoa: 2011-2015
Fuente: FIA (2017)

Interesante también es conocer los precios por mercado de destino, el cual se da a conocer a continuación.

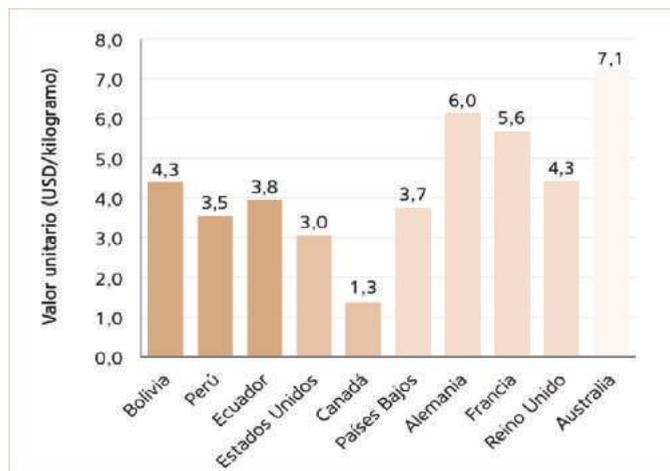


Figura 6. Precios de exportación de la quínoa según mercado de destino (2015)
Fuente: FIA (2017)

Según FIA (2017) la comparación de los diferentes precios de exportación, según mercado de destino, muestra que existen diferencias apreciables entre algunos de los mismos. En un extremo se destacan las colocaciones en Australia las que, según cifras de 2015, obtienen valores unitarios (US\$ 7,1 kg⁻¹) significativamente superiores al promedio (US\$ 4,2 kg⁻¹). Por el contrario, el valor de las exportaciones a países como Estados Unidos y Canadá registraron los menores precios (US\$ 3 y 1,3 kg⁻¹, respectivamente) (Figura 6).

A su vez, los restantes mercados principales de destino de la Unión Europea, exhiben valores unitarios con una alta variación: Países Bajos (US\$ 3,7 kg⁻¹); Alemania (US\$ 6 kg⁻¹); Francia (US\$ 5,6 kg⁻¹) y Reino Unido (US\$ 4,3 kg⁻¹). Finalmente, cabe destacar que las diferencias de precios mencionadas, donde se destaca el alto valor en el mercado australiano y el bajo precio en países como Estados Unidos y Canadá representan una variación importante a la estabilidad observada desde la subida del precio internacional hasta antes del Año Internacional de la Quinoa de 2013 (FIA, 2017).

Un acercamiento real a la dinámica de precios es observar los montos que se pagan a los agricultores en Perú. Respecto de estos, Ubillus (2015) señala que van desde US\$ 4.000 a US\$ 4.500 por tonelada. Esta variación se debe a que los precios varían en función de los mercados de destino, de la calidad y de si es orgánica o no, entre otros factores. Todos estos valores de mercado en la cotización internacional del valor de la quinoa siguen el proceso natural como de cualquier *commodity*, que consiste en la determinación de la estructura de costos de cierto bien transable, introduciendo los efectos de los mercados internacionales sobre el precio, para así establecer el valor adecuado para el comercio interno y externo.

Respecto de este mismo mercado, el precio mayorista promedio mensual de la quinoa, alcanzó su nivel más alto en julio de 2015 (US\$ 3,08 kg⁻¹)¹, para luego mostrar un descenso, el cual alcanzó los US\$ 2,71 kg⁻¹, en noviembre de 2015 (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016). Esta misma referencia señala que en cuanto al precio por variedad, existe una clara diferencia de los mismos en función del color del grano. La quinoa negra y roja son las más caras debido a la escasa oferta disponible y son alrededor de 90 y 50% respectivamente, más caras que la blanca.

9.3.2 Precios en Chile

En relación con la cadena productiva y de comercialización de la quinoa en Chile, esta es incipiente y compleja por la alta intermediación del producto y el gran nivel de informalidad, lo que hace que llegue al consumidor final a un precio muy elevado (FIA, 2017).

¹ Valor dólar en Perú julio 2015 = 3,18 Soles peruanos. Fuente: https://www.deperu.com/tipo_cambio/historico/2015/

Según ODEPA (2017), el precio a productor por kilo de quínoa sin desaponificar en la Región de O'Higgins en mayo de 2017 alcanzaba los \$1.000 pesos (US\$1,47)².

El mercado es atomizado, dado que el cultivo de la quínoa es realizado casi en su totalidad por productores campesinos individuales y a pequeña escala, generando una gran dispersión, llevando a quintuplicar los precios que llegan al consumidor final, situación que se ha producido fundamentalmente en los últimos 5 años. Este factor también afecta el consumo de dicho alimento, generando un freno para alcanzar economías de escala y optimizar la producción (Pizarro y Martínez citado por FIA, 2015).

Esta misma fuente, señala que en las regiones Metropolitana y de Valparaíso se ha observado que el precio promedio de la quínoa en supermercados (\$13.419 kg⁻¹), es tres veces superior al precio promedio en ferias libres y tostaderías (\$4.421 kg⁻¹). Asimismo, se ha constatado que la mayoría de la quínoa perlada comercializada en supermercados corresponde mayoritariamente a la proveniente de Perú y Bolivia (78%), envasada en formatos de 100 a 400 g, mientras que en tostaderías y ferias libres la presencia de quínoa perlada peruana lideró principalmente como producto a granel (82%).

9.4 Costo de Producción y Margen Bruto de Quínoa en otros Países y Zonas de Chile

9.4.1 Un caso de quínoa convencional producida con tecnología media en Perú

El estudio que se presenta a continuación fue realizado por investigadores de INIA Florida del Perú. Este es un buen ejemplo, porque al igual que la investigación realizada en la Región de La Araucanía en Chile, por INIA Carillanca y La Universidad de La Frontera, se trata del desarrollo del cultivo de la quínoa por una institución estatal peruana en la región de Lambayeque, realizado en un centro experimental asociada a la investigación agrícola en busca de la diversificación productiva, y porque además los rendimientos obtenidos son "buenos" en comparación con los habitualmente señalados para Perú, Bolivia y Ecuador, principales productores de quínoa en el mundo.

El proyecto comienza con el desarrollo piloto llevado a cabo por la estación INIA Florida (Perú) en coordinación con un grupo de agricultores de la Región de Lambayeque el 2012/2013 con una siembra de 138 hectáreas desarrollado en su primera fase en el distrito de Jayanca, en la provincia de Lambayeque y posteriormente se amplió su cultivo en Jayanca, Motupe, Olmos (los tres en Lambayeque) e Incahuasi (en Ferreñafe).

En el cuadro siguiente se da a conocer el margen bruto kg⁻¹, para el caso de quínoa convencional producida con tecnología media en provincia de Lambayeque en el Perú.

² Valor dólar promedio de mayo de 2017= 671,54.

Cuadro 4. Margen bruto ha⁻¹ de la producción de quínoa convencional con tecnología media, provincia de Lambayeque

Indicador	Unidad de Medida y moneda	Valores
Precio de venta / (kg chacra)	S/	1,33
Rendimiento	kg ha ⁻¹	2.500,0
Ingreso bruto	S/	3.325,0
Costo total	S/	2.406,6
Margen bruto ha⁻¹	US\$	918,44

Fuente: Adaptado de Ubillús (2015) y Ministerio de Agricultura y Riego (2017).

Si bien el margen bruto kg⁻¹ es muy favorable para un agricultor de la zona de Lambayeque, hay que considerar que el rendimiento es bastante excepcional, ya que según informa el Ministerio de Agricultura y Riego (2017) la zona de Lambayeque obtiene rendimientos de 2.000 kg ha⁻¹ en el 2016, siendo bastante elevado, aunque esta misma referencia informa que los mayores rendimientos en dicho país se obtienen en la zona productora de Arequipa, alcanzando los 3.400 kg ha⁻¹ en el mismo año.

El detalle del estudio de costos en que se fundamentó el caso recién presentado, se detalla en el cuadro 5.

Cuadro 5. Costos de producción por hectárea de quinoa convencional con tecnología media, provincia de Lambayeque, Perú

Cultivo	Quinoa	Provincia		Lambayeque
Nivel Tecnológico	Medio	Sistema de Riego		Gravedad
Varietal	Salcedo INIA	Rendimiento (t ha ⁻¹)		2,50
Partidas	Unidad	Cantidad ha ⁻¹	Precio Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
Insumos				1.192,5
Semilla Certificada	kg	10	10,0	100,0
Fertilizantes-Abonos				
Urea	kg	200	0,4	80,0
Fosfato Monoamónico	kg	80	0,5	40,0
Sulfato de Potasio	kg	200	0,4	86,7
Sulpomag	kg	40	0,4	17,3
Materia Orgánica (Compost)	Tm	5	33,3	166,7
Enmiendas (Calcio micronizado)	kg	120	0,7	80,0
Microorganismos antagonicos	kg	2	10,0	20,0
Bioestimulante y Desestresante	L	38	2,1	78,5
Foliales	L	17,5	2,7	46,7
Madurador	kg	4	3,3	13,3
Liberación de Insectos benéficos	Pulg. ²	40	0,2	8,0
Melaza	kg	7	0,3	2,3
Herbicida	L	3,75	9,3	35,0
Plaguicidas				
Insecticidas	kg - L	4	34,0	136,0
Fungicidas	kg - L	4	45,0	180,0
Preparación de semilla (Orthene)	Sobre	1	5,0	5,0
Adherente	L	1,5	34,0	51,0
Mano de obra	Jornal	67		486,7
Preparación de Terreno				
Corrección cabeceras	Jornal	1	8,3	8,3
Siembra	Jornal	13	8,3	108,3
Abonamiento	Jornal	24	6,7	160,0
Deshierbes	Jornal	14	6,7	93,3
Aporque	Jornal	2	6,7	13,3
Instalación y Mantenimiento trampas	Jornal	2	6,7	13,3
Riego	Jornal	4	8,3	33,3
Liberación de Insectos benéficos	Jornal	1	8,3	8,3
Cosecha				
Siega, ensacado y traslado	Jornal	5	8,3	41,7
Limpieza de era	Jornal	1	6,7	6,7
Mecanización				488,7
Gradeo y Cruza	Horas / Tractor	2	33,3	66,7
Mullido	Horas / Tractor	2	40,0	80,0
Surcado	Horas / Tractor	2	40,0	80,0
Aplicaciones	Mochila	11	8,7	95,3
Aporque	Tracción animal	2	16,7	33,3
Trilladora	horas	2	66,7	133,3
Otros gastos				283,1
Agua	mil m ³	7	6,0	42,0
Sacos	No	50	0,2	10,0
Costos financieros	%	10,41	2.219,9	231,1
Costo Total ha⁻¹ (En US\$)*				2.406,6

* Valor dólar utilizado equivale a 3 soles por dólar

Fuente: Adaptado de Ubillús (2015)

9.4.2 Otros estudios de costos y rentabilidad del cultivo de la Quínoa en Chile

Es importante conocer casos de estudios de costos generados en Chile y otros países, entendiendo que las tecnologías estándar utilizadas difieren según localidad, región y tipo de explotación. Para iniciar esta revisión se da a conocer un estudio de costos y determinación de margen bruto para el cultivo de la quínoa en 5 casos de productores, de tres regiones de Chile (Coquimbo, O'Higgins y La Araucanía, el cual fue realizado por Martínez *et al.*, 2015). A continuación, se da conocer el cuadro resumen de estos cinco casos.

Cuadro 6. Margen bruto kg⁻¹ del cultivo de quínoa en 5 productores de Chile (En pesos de octubre de 2013)

Ítem	Región de Coquimbo		Región de O'Higgins		Región de La Araucanía
	Productor 1	Productor 2	Productor 3	Productor 4	Productor 5
Insumos	163.904	30.881	60.950	6.000	305.414
(%)	-23%	-8%	-28%	-4%	-31%
Labores	309.460	376.000	160.000	160.000	507.500
(%)	-43%	-92%	-72%	-96%	-51%
Otros costos	243.479	0	0	0	173.844
Total costos en Pesos	716.843	406.881	220.950	166.000	986.758
Total costos Dólares *	1.437	816	443	333	1.978
Rendimientos (kg ha ⁻¹)	869	1.000	1.200	800	1.770
Precio de venta	500	500	500	500	500
Total venta	434.500	500.000	600.000	40.000	885.000
Margen Bruto en Pesos	-282.343	93.119	379.050	-126.000	101.758
Margen Bruto en Dólares	-566	187	760	-253	204

* Valor dólar del 15 de octubre de 2013 = 498,77.

Fuente: Adaptado de Martínez *et al.*, 2015.

Según Martínez *et al.*, (2015), los agricultores se encuentran en distintas localidades (Productores 1 y 2 son de la Región de Coquimbo; 3 y 4 corresponden a casos típicos de la realidad de campesinos de pequeña escala de la Región de O'Higgins, donde el caso 3 agrega compost a su cultivo, aumentando un poco los costos de insumos; y el caso 5 a una explotación de la Región de La Araucanía donde la quínoa posee mayor superficie, pero es solo una parte del total). Los tamaños de las explotaciones son en general pequeñas, una gran diferencia con los casos altiplánicos. Los productores 1 a 4 con superficies menores a 2,3 hectáreas y el 5 con más de 10 hectáreas, de las cuales al menos 10 son de quínoa. Solo en Coquimbo se irriga artificialmente. En todos los otros casos el régimen de riego es pluvial, aunque puede haber costos de derechos de agua ligados a la propiedad que sirven a otros cultivos. Solo los productores 1 y 5 usan plaguicidas y/o fertilizantes químicos.

Claramente, los resultados de este estudio indican importantes diferencias en costos, rendimientos y rentabilidades entre productores y entre regiones. Aunque los niveles de productividad por hectárea son equivalentes a los productores de Bolivia, Perú y Ecuador.

La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2017b), desarrolló una ficha técnico-económica para el cultivo de quínoa en la Región de O'Higgins. Esta ficha fue utilizando una tecnología media-alta, en seco y utilizando genotipos locales de la región. El resumen del cálculo de Margen Bruto por hectárea disponible en esta ficha se da a conocer en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Margen bruto por hectárea del cultivo de quínoa en la Región de O'Higgins, Chile (En pesos de mayo de 2017)

Ítem	Unidad	Valores
Costos directos ha ⁻¹	\$	1.236.103
Precio de venta del kilo de quínoa sin desaponificar	\$	1.000
Rendimiento	kg ha ⁻¹	2.300
Ingresos por hectárea	\$	2.300.000
Margen bruto ha ⁻¹	\$	1.063.897
Margen bruto ha ⁻¹ *	US\$	1.584,3

* Valor dólar promedio de mayo de 2017= \$671,54.

Fuente: Adaptado de Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2017b)

Este análisis, tiene un resultado más favorable que los 5 casos analizados Martínez, *et al.*, (2015) y esto se fundamenta en la mayor productividad por hectárea asumida, ya que en este ejemplo se alcanzan los 2.300 kg ha⁻¹, en cambio el mejor rendimiento determinado por Martínez, *et al.*, (2015), fue de solo 1.770 kg ha⁻¹. Pero igual de determinante es la diferencia del precio de venta asumido en ambos casos; así ODEPA (2017b), fijó en 1.000 pesos nominales kg⁻¹ de quínoa sin desaponificar, en cambio Martínez, *et al.*, (2015), solo asumen un precio de 500 pesos nominales kg⁻¹.

9.5 Costos y Margen Bruto por hectárea en La Araucanía

El historial de investigaciones respecto del paquete tecnológico del cultivo de quínoa en la zona sur de Chile, específicamente en La Araucanía había sido casi inexistentes. Solo a partir de 2016 comienzan a generarse antecedentes sistemáticos sobre el mismo, recabando información relacionada con distintos ítems y tecnologías específicas que generan costos de producción, esto en el marco de proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), denominado "Tecnologías para potenciar el cultivo de quínoa como opción productiva para la AFC en la zona centro-sur de Chile", código PYT-2015-0113. Dicha iniciativa, ejecutada por investigadores de INIA Carillanca y La Universidad de La Frontera permitió determinar el margen bruto ha⁻¹ del cultivo de quínoa en La Araucanía de manera más fidedigna. Así, la información agronómica fue generada en la comuna de Vilcún, en el Centro Regional de Investigación INIA Carillanca. Los demás antecedentes (Precios), provienen de los proveedores de insumos y servicios de La Araucanía. El rendimiento probable, rendimiento mínimo y máximo se obtuvieron del promedio de 9 ensayos durante tres años.

Cuadro 8. Costos directos ha⁻¹ del cultivo de quínoa en la Región de La Araucanía
(En pesos de julio de 2018)

Costos Directos	Unidad	Cantidad	\$ por Unidad	Valor ha ⁻¹ (\$)
Mano de obra				63.600
Aplicación de herbicidas	JH	1	12.000	12.000
Aplicación de fungicidas	JH	1	12.000	12.000
Aplicación de fertilizantes	JH	0,3	12.000	3.600
Otros	JH	1	12.000	12.000
Cosecha	JH	2	12.000	24.000
Maquinaria				245.925
Preparación de suelo con rastra de disco	HT	0,7	29.000	20.300
Preparación de suelo con arado de cincel	HT	1	45.000	45.000
Preparación de suelo con vibrocultivador	HT	0,5	18.000	9.000
Sembradora	HT	0,75	23.500	17.625
Aplicación de herbicidas	HT	0,5	11.000	5.500
Aplicación de fungicidas	HT	2	11.000	22.000
Aplicación de fertilizantes	HT	0,5	11.000	5.500
Otros	HT	1	11.000	11.000
Cosecha (trilladora)	HT	2	55.000	110.000
Fertilizantes				290.400
Urea	kg	450	300	135.000
Superfosfato triple	kg	300	312	93.600
Cloruro de potasio	kg	200	295	59.000
Otro 1: boronatrocalcita	kg	10	280	2.800
Plaguicidas				304.307
Glifosato (barbecho preparación suelos)	L	3	11.700	35.100
Desinfectante de semilla	dosis	1	1.807	1.807
Metamitron (herbicida)	kg	7,5	30.000	225.000
Zampro (fungicida)	L	0,8	53.000	42.400
Otros				221.560
Análisis de suelos	Un	1	26.400	26.400
Sacos	Sc	156	110	17.160
Fletes	kg	3.900	20	78.000
Semilla (de genotipos de la Zona Sur de Chile)	kg	10	10.000	100.000
Subtotal Costos Directos				1.125.792
Gastos Financieros (7,5% Subtotal costos directos)				84.434
Total Costos Directos				1.210.226

En la figura 7 se da a conocer la distribución porcentual de las partidas de costos del cultivo de quínoa en la Región de La Araucanía.

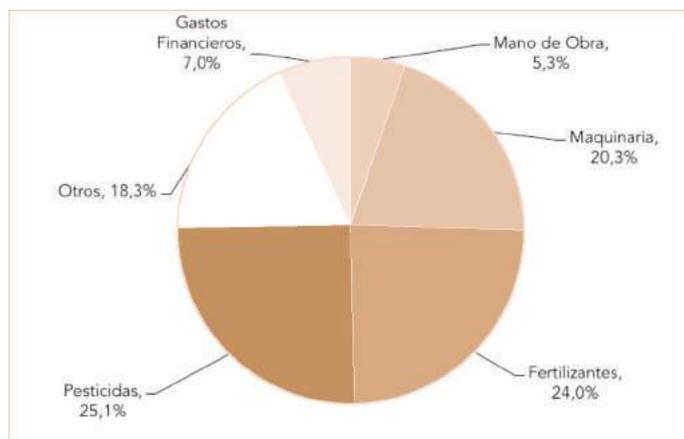


Figura 7. Distribución porcentual de los costos directos del cultivo de quínoa en la Región de La Araucanía. Fuente: Elaboración propia.

En esta distribución se aprecia que las tres partidas de costos más incidentes en el cultivo de quínoa en La Araucanía son los pesticidas, los fertilizantes y la maquinaria, con un 25,1%; 24,0% y 20,3% respectivamente, de incidencia en el total de costos directos ha^{-1} . Además, hay que señalar que el control de malezas genera los mayores costos por hectárea al cultivar la quínoa en La Araucanía, alcanzando solo en herbicidas la suma de 260 mil 100 pesos ha^{-1} , lo que equivale al 21,5% del total de costos directos ha^{-1} .

En el cuadro siguiente se da a conocer el margen bruto por hectárea del cultivo de quínoa en La Araucanía.

Cuadro 9. Margen bruto ha^{-1} del cultivo de quínoa en la Región de La Araucanía, Chile (En pesos de julio de 2018)

Ítem	Unidad	Valores
Costos directos por hectárea	\$	1.210.226
Precio de venta del kilo de quínoa sin desaponificar	\$	1.000
Rendimiento promedio de 9 ensayos agronómicos	kg ha^{-1}	3.804
Ingresos por hectárea	\$	2.300.000
Margen Bruto ha^{-1}	\$	1.929.774
Margen Bruto ha^{-1} *	US\$	2.957,9

* Valor dólar promedio de julio de 2018= \$652,41.

Fuente: Elaboración propia

Al observar el cuadro anterior se puede señalar que el margen bruto ha⁻¹ obtenido para el cultivo de quínoa en Región de La Araucanía es elevado respecto de otros reportes en el país y el exterior. Lo anterior, permite inferir interesantes rentabilidades para los agricultores de esta región dedicados en el futuro a dicho cultivo. Este resultado financiero sin duda torna competitivo el cultivo en Chile respecto de otras zonas productoras en el mundo, en especial si ello se realiza en La Araucanía.

De las variables más incidentes para la obtención de este margen bruto ha⁻¹ (1 millón 929 mil 774 pesos), están el rendimiento ha⁻¹ obtenido del promedio de los 9 ensayos agronómicos (3.804 kg ha⁻¹) utilizados para el análisis y el uso de genotipos del sur de Chile (de zonas bajas). También hay que señalar que para este rendimiento (3.804 kg ha⁻¹) el precio de equilibrio³ es de 318 pesos.

A continuación, se muestra el comportamiento financiero del cultivo de la quínoa en La Región de La Araucanía al hacer un análisis de sensibilidad por precio y rendimiento. Especial importancia tiene el hecho que los valores de rendimientos mínimos y máximos probables fueron obtenidos en los ensayos realizados en investigación, es decir son valores reales.

Cuadro 10. Análisis de sensibilidad por precio y rendimiento para el cultivo de quínoa en la región de La Araucanía, Chile (En pesos de julio de 2018)

Rendimientos	kg ha ⁻¹	Precios (\$) Sin desaponificar	Ingreso bruto (\$)	Costos directos (\$)	Margen Bruto ha ⁻¹
Rendimiento mínimo probable	2.750	600	1.650.000	1.210.226	439.774
Rendimiento mínimo probable	2.750	1.200	3.300.000	1.210.226	2.089.774
Rendimiento máximo probable	5.284	600	3.170.400	1.210.226	1.960.174
Rendimiento máximo probable	5.284	1.200	6.340.800	1.210.226	5.130.574

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que con el rendimiento más bajo (2.750 kg ha⁻¹) alcanzado en los ensayos de este proyecto, y asumiendo un precio pesimista (600 pesos), el margen bruto ha⁻¹ aún sigue siendo interesante y competitivo con otros cultivos anuales de la Región de La Araucanía.

3 Margen bruto ha⁻¹ = \$0.

Finalmente, es importante presentar los resultados generados por esta investigación en la Región de La Araucanía respecto de los ejemplos entregados en este trabajo. Para ello se resume en el cuadro 11 los valores de margen bruto ha⁻¹ de cada iniciativa presentada, pero corregido por los valores en dólares según las fechas de los respectivos reportes, a fin de hacer más comparables los resultados.

Cuadro 11. Margen bruto ha⁻¹ del cultivo de quínoa (Casos de Perú y Chile)

Ítem	Lambayeque, Perú	Región de O'Higgins, Chile	Región de La Araucanía, Chile	Región de O'Higgins, Chile	Región de La Araucanía, Chile
Valor Dólar	3 Soles	\$498,77	\$498,77	\$671,54	\$652,41
Total costos en US\$	2.407	443	1.978	1.841	1.855
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	2.500	1.200	1.770	2.300	3.804
Precio de venta en US\$	1,33	1,00	1,00	1,49	1,53
Ingresos ha ⁻¹	3.325	1.203	1.774	3.425	3.525
Margen bruto en US\$	918	760	-204	1.584	2.958
Fuente	Ubillús (2015) y Ministerio de Agricultura y Riego (2017)	Martínez, et al., 2015	Martínez, et al., 2015	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2017b)	Resultados del presente estudio (2018)

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes indicadas.

Al analizar este cuadro hay que destacar en primera instancia lo elevado de los rendimientos alcanzados en La Araucanía y específicamente en la comuna de Vilcún respecto de los demás reportes y de la información entregada por los principales países productores de quínoa en el mundo. Considerando además que en este análisis no se utilizó el mejor rendimiento generado (5.284 kg ha⁻¹), sino el rendimiento promedio de nueve ensayos. Según FIA (2017) el rendimiento promedio del país durante la temporada 2015/2016 estuvo en torno a los 1.000 kg ha⁻¹.

Lo otro interesante a destacar es que los reportes de costos directos por hectárea en Chile, para tecnología media-alta en secano, se han ido normalizando. Así, Martínez et al., (2015), ODEPA (2017b) y los presentados por este trabajo respectivamente, reportan los siguientes valores de costos directos, US\$1.978; US\$1.841 y US\$1.855.

Lo otro que muestran los reportes del cuadro 11, es que los precios kg⁻¹ de quínoa sin desaponificar han ido al alza.

Finalmente destacar que, si bien los reportes no son "comparables", su análisis agregado nos permite reconocer el potencial que tiene la Región de La Araucanía para desarrollar competitivamente el cultivo de la quínoa.

9.6 Conclusiones y comentarios

- La quínoa es una materia prima que se acopla integralmente a varias de las principales tendencias globales de la industria de alimentos
- La quínoa utilizada para realizar este análisis de costos y rentabilidad corresponde a genotipos del sur de Chile (Zonas bajas), lo cual genera focos de oportunidad comercial aun no explotados por los productores, comercializadores y los transformadores nacionales, y en especial los de la Región de La Araucanía
- Las tres partidas de costos más incidentes en el cultivo de la quínoa en La Araucanía son los pesticidas, los fertilizantes y la maquinaria, con un 25,1; 24,0 y 20,3% respectivamente, de incidencia en el total de costos directos por hectárea
- Hay que señalar, que más específicamente, es el control de malezas lo que genera los mayores costos por hectárea al cultivar la quínoa en La Araucanía
- Se debe destacar lo elevado de los rendimientos alcanzados en la Región de La Araucanía, y específicamente en la comuna de Vilcún. Lo anterior, respecto de los demás reportes sobre el cultivo de la quínoa presentados en este trabajo y de la información entregada por los principales países productores de quínoa en el mundo
- El margen bruto ha⁻¹ obtenido para el cultivo de quínoa en la Región de La Araucanía es elevado respecto de otros reportes en el país y en el exterior, y también respecto de otros cultivos anuales realizados hoy en el sur Chile
- La quínoa tiene probabilidades para desarrollarse competitivamente en el sur de Chile y particularmente en la Región de La Araucanía.

Referencias Bibliográficas

- Blanco, J. 2014. Forraje y Alimentación Animal. Capítulo Número 3.2. IN: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quínoa en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 297-316.
- Esposito, M. y Tse, T. 2014. Fast Expanding Markets The revolution of the Real Economy. Presentación. <http://terencetse.com/wp-content/uploads/2014/07/Fast-Expanding-Markets-slide-deck.pdf>.
- Fuentes, F. y Paredes, G. 2014. Perspectivas Nutraceuticas de la Quínoa: Propiedades Biológicas y Aplicaciones Funcionales. Capítulo Número 3.5. IN: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quínoa en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 341-357.
- Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2017. Potencial competitivo de la quinua chilena. Serie de estudios para la innovación FIA. Santiago, Chile. 147 p.
- Furche, C., Salcedo, S., Krivosos, E., Rabczuck, P., Jara, B., Fernández, D. y Correa, F. 2014. Comercio internacional de quínoa. Capítulo Número 4.1. IN: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quínoa en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 376-393.
- Martínez, E., Donoso, I y Chia, E. 2015. ¿Es rentable la producción de quínoa en Chile? Revista Tierra Adentro. Especial Quínoa. N°108. INIA, Chile. p. 68-73.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2016. Boletín. Evolución Mensual de Precios de la Quínoa. Desde 01 de enero a 15 de junio de 2016. Dirección General de políticas Agrarias. Lima. Perú. 4 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2017. Informe. Análisis económico de la producción nacional de la quínoa. Dirección General de políticas Agrarias. Lima. Perú. 11 p.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 2017. Estudio de la situación actual de la cadena comercial de la quínoa en la Región de Tarapacá. Ministerio de Agricultura, Chile. 137 p.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 2017b. Ficha técnico-económica quínoa Región de O'Higgins https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/10/quínoa_tecnologia_media_alta_ohiggins_2016-17.pdf
- Pefaur, J. 2018. La quínoa en Chile, el despegue de un grano ancestral. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile. 14 p.
- Peláez, J. y Zamudio, A. 2014. Exportación de quinua orgánica al mercado de Nueva York, para incrementar la rentabilidad de los agricultores del Valle santa – Chimbote. Tesis para optar el título profesional de: Licenciado en Administración y Negocios Internacionales. Facultad de Negocios. Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú. 69 p.
- Ubillús, F. 2015. La quínoa como alternativa de cultivo rentable en la Región de Lambayeque para el mercado interno y externo. Tesis Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Escuela Profesional de Economía. Universidad Ricardo Palma. Lima-Perú. 501 p.
- Vásquez, K. 2015. Estudio de las características de la producción de quinua orgánica blanca variedad Santa Ana Junin, para la propuesta de un plan de negocios de exportación al mercado francés - Paris, 2016. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Administración y Negocios Internacionales. Univ. Privada del Norte, Facultad de Negocios. Cajamarca – Perú. 170 p.



Capítulo 10
PROTOTIPOS INDUSTRIALES UTILIZANDO
COMO MATERIA PRIMA LA QUÍNOA

Susana Valenzuela A.



10.1 Introducción

La industrialización de la quínoa es una alternativa para agregar valor. Con el uso de tecnologías mejora su calidad en la elaboración de diferentes alimentos, permite asegurar la preservación de las características nutricionales, contribuir a la salud y la seguridad alimentaria de la población.

Por otra parte, la diversificación de productos elaborados en base a la quínoa, depende en gran medida del conocimiento que se disponga de la materia prima a utilizar, componentes químicos, nutricionales y propiedades funcionales. Con esta información se puede orientar su potencial de aplicación y uso agroindustrial (Ver Capítulo 2).

10.2 Usos

Entre los usos de la quínoa destaca como aditivo en la elaboración de pastas y panificados. Esto debido a que mejora las características de la masa, dándole resistencia y buena absorción de agua. Al no poseer gluten, la quínoa es especialmente beneficiosa para elaborar productos dirigidos a personas celíacas. Por su bajo índice glucémico, es ideal para personas con diabetes, como también para controlar los niveles de colesterol en la sangre, ya que su fibra y sus lípidos insaturados favorecen el perfil lipídico en el organismo.

10.3 Prototipos de productos industriales

En el marco del proyecto FIA “Tecnologías para potenciar el cultivo de quínoa como opción productiva para la AF en la zona centro-sur de Chile”, se elaboraron tres prototipos de alimentos utilizando la quínoa como materia prima (bebida, flan y mote). Estos fueron desarrollados en la planta piloto del Instituto de Agroindustria de la Universidad de La Frontera.

Se utilizó como materia prima grano de quínoa exento de saponinas proveniente de la variedad Regalona Baer. Los análisis químicos se realizaron de acuerdo con las metodologías descrita en el anexo 1. Por su parte, las evaluaciones sensoriales, se realizaron a través de análisis de preferencias, considerando degustaciones de los formulados, las que fueron realizadas a través de la aplicación de una escala hedónica de 5 niveles (1= me disgusta mucho – 5= me gusta mucho).

A continuación, se describen los productos y las operaciones realizadas en su proceso industrial para la elaboración de los prototipos bebida, flan, mote y harinas, todos a base de quínoa.

Pretratamiento materia prima antes del desarrollo de los prototipos industriales (Foto 1).



Foto 1. Pretratamiento de malteado: a) pesaje, b) remojo, c) germinación y d) tostado. Fuente: Susana Valenzuela A. (Universidad de La Frontera)

- **Malteado:** se remojan 1000 g de quínoa en agua purificada en una relación de 1:3, durante 24 horas a temperatura ambiente. Este procedimiento se realiza con el fin de disminuir el contenido de fitatos.
- **Germinación:** transcurridas las 24 horas de remojo se escurre el exceso de agua y se dispone el material en recipientes adecuados en un baño termoregulado, durante 7 horas a 25°C.
- **Tostado:** el tostado se realiza en una estufa a temperatura de entre 30° y 65°C por 48 horas. En esta etapa se detienen las reacciones enzimáticas.

10.3.1 Elaboración de bebida

A partir de la quínoa malteada, se evaluó la relación sólida: agua requerida para la formulación de bebidas, siendo éstas 1:6; 1:8 y 1:10. A cada una de las formulaciones se le agregó 5,8 % de almendras picadas y peladas, la mezcla fue licuada y filtrada obteniéndose un extracto líquido, que fue saborizado con vainilla al 0,5% peso volumen. Adicionalmente se evaluaron dos dosis de estabilizante 0,3 y 0,5% de maltodextrina. Como resultado la formulación de bebida en base a quínoa se determinó que la relación sólida: agua 1:8 presentó la mejor viscosidad, consistencia y características organolépticas, lo que coincide con la relación utilizada por Rustom (1995) (Foto 2). La dosis óptima de estabilizante (maltodextrina) fue 0,5%.

Como se observa en el cuadro 1, el producto desarrollado (bebida de quínoa más almendras), contiene 1,4 mg de vitamina B2 (Riboflavina), lo que equivale a 87,5% de la dosis diaria de referencia (DDR) en una porción de 250 ml (Directrices del Codex, 1993).

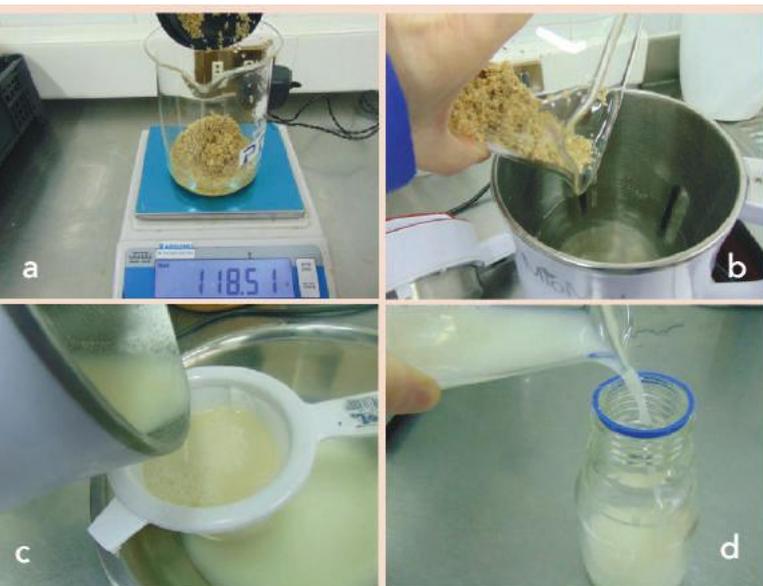


Foto 2. Etapas para el procesamiento de la bebida de quínoa: a) pesaje, b) licuado, c) colado y d) envasado. Fuente: Susana Valenzuela A. (Universidad de La Frontera)

Cuadro 1. Caracterización química de la bebida de quínoa

Parámetros	Bebida Quínoa* (100 ml)
Energía (Kcal)	21,8
Proteínas (g)	0,71
Grasa (g)	0,84
Hidratos de Carbono disponibles (g)	2,85
Azúcares Totales (g)	0
Fibra dietaria (g)	0
Fibra dietaria insoluble (g)	0
Fibra dietaria soluble (g)	0
Sodio (mg)	3,8
Calcio (mg)	6,61
Fósforo (mg)	1,12
Hierro (mg)	0,26
Magnesio (mg)	6,23
Potasio (mg)	2,29
Vitamina B2 (mg)	0,56

*Fuente: Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera.

10.3.2 Flan

A partir de la bebida de quínoa se preparó un flan para lo cual se evaluó la concentración de gelatina al 2,0 – 2,5 y 3%. Para cada una de las formulaciones se mantuvo constante el azúcar, 3,5%, al igual que esencia de piña 0,18%, colorante de piña 0,004% y maltodextrina 0,04%, dosis recomendadas por la marca Sabores (Foto 3).



Como resultado la formulación de mayor aceptación fue el preparado con gelatina (2,5%), azúcar (3,5 %), esencia de piña (0,18%), colorante (0,004%) y maltodextrinas (0,04%). El producto fue seleccionado por mejor textura, sin sinéresis. En la evaluación sensorial el 80% la calificó con nota 5, que significaba me gusta mucho.

En el cuadro 2 se presenta la composición nutricional del flan desarrollado, comparada con una jalea comercial. El nuevo producto desarrollado tiene un aporte proteico de 8,4% de la dosis diaria de referencia (DDR) en una porción de 100 g (Directrices del Codex, 1993).

Cuadro 2. Composición química del flan de quínoa comparada con una jalea de marca comercial

Parámetros	Flan Quínoa* (100 g)	Jalea comercial (100 g)
Energía (Kcal)	36,8	46,0
Proteínas (g)	4,20	0,0
Grasa (g)	<0,5	0,2
Hidratos de Carbono disponibles (g)	5,01	11,2
Azúcares Totales (g)	2,60	10,0
Fibra dietaria (g)	1,09	-
Fibra dietaria insoluble (g)	0	-
Fibra dietaria soluble (g)	1,09	-
Sodio (mg)	9,9	15,0
Calcio (mg)	3,45	-
Fósforo (mg)	0,26	-
Hierro (mg)	0,01	-
Magnesio (mg)	0	-
Potasio (mg)	0	-
Vitamina B2 (mg)	0	-

*Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera.

En cuanto a la vida útil del flan, envasado en frasco de vidrio y almacenado en condiciones de refrigeración (0-5°C) ésta fue de 48 días.

10.3.3 Mote

Se realizaron pruebas preliminares para determinar los tiempos de remojo y cocción. La proporción para remojar el grano fue de 1:3 (grano: agua), los tiempos de remojo fueron 8, 16 y 24 horas. Para el tiempo de cocción se hizo el estudio con 5, 10 y 15 minutos. Se mantuvo constante la temperatura de cocción a 100°C. Los granos se cocieron en olla capacidad 5 litros a presión atmosférica (Foto 4).



Foto 4. Etapas del proceso de elaboración del mote quínoa: a) remojo, b) cocción, c) enfriado, d) envasado y pesaje, e) sellado y f) refrigeración (5°C). Fuente: Susana Valenzuela A. (Universidad de La Frontera)

Como resultado, la formulación con mayor grado de aceptación, según la evaluación sensorial fue la que se elaboró con un tiempo de cocción de 10 minutos a 100°C. Con este tiempo el grano presentó mejor textura y mejor palatabilidad, superado los 10 minutos la quínoa presenta una textura muy ligosa. Los tiempos de remojo evaluados no influyen significativamente en la posterior cocción de los granos. Pero el remojo es un tratamiento muy importante para la reducción de los fitatos, por esta razón se elige 24 horas de remojo de la quínoa.

Destacar del cuadro 3 que el mote de quínoa presentó un alto contenido de proteína (5 %) respecto a los motes de trigo y maíz, 3,5% y 2,6% respectivamente. La vida útil del mote de quínoa fue de 10 días envasada en Doy Pack transparente, almacenado en condiciones de refrigeración (0-5°C).

Cuadro 3. Composición química del mote de quínoa comparado con mote de trigo y mote de maíz

Parámetros	Mote Quínoa* (100 g)	Mote Trigo (100 g)	Mote Maíz (100 g)
Energía (Kcal)	135,51	131	123
Proteínas (g)	5	3,5	2,6
Grasa total (g)	2,83	0,4	1,8
Hidratos carbono disponibles (g)	22,51	30,4	25,1
Fibra cruda (g)	0,9	-	0,5
Cenizas (g)	0,67	0,7	-
Azúcares totales (g)	0,4	-	-
Sodio (mg)	<4	-	-

* Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera, **. Schmidt-Hermann, et al, 1990.

10.3.4 Harina

A partir de quínoa malteada en un molino ultra centrífugo marca Retsch ZM 200, se elaboró la harina de quínoa y además las mezclas con otras harinas libres de gluten (maíz y arroz), esto último para disminuir el sabor acentuado de la quínoa. Las formulaciones fueron las siguientes (25%, 25% y 39%); (25%, 25% y 10%) y (25%, 25% y 25%) arroz, maíz y quínoa, respectivamente. Para cada una de las formulaciones se mantuvo constante el agar-agar, 1%, y murtilla en polvo liofilizado, 10% (Foto 5). Todas las formulaciones fueron evaluadas sensorialmente en preparaciones de masa dulce (queques).

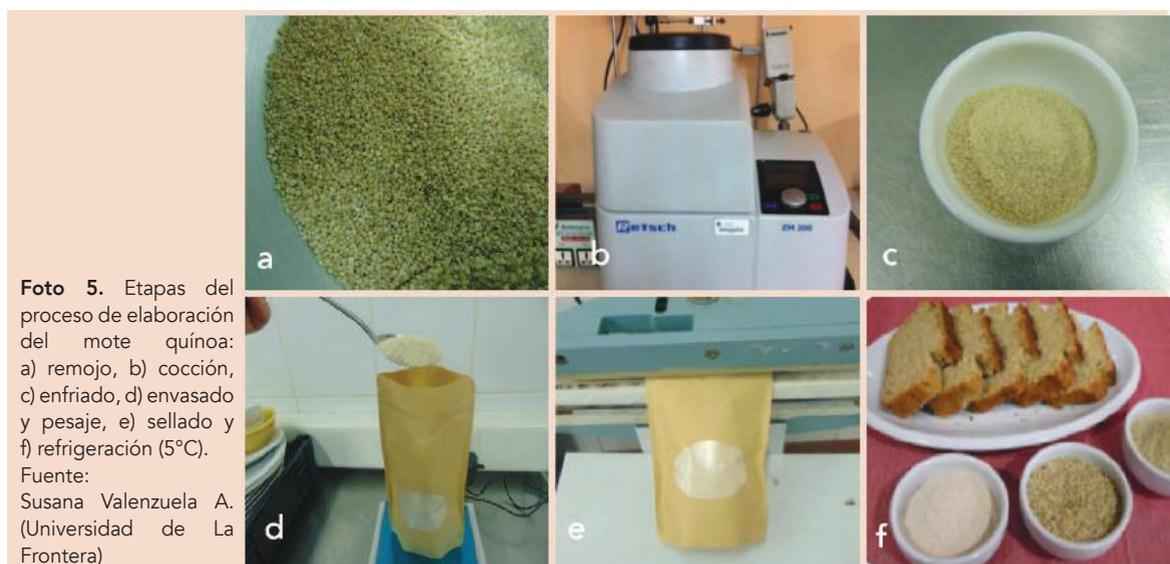


Foto 5. Etapas del proceso de elaboración del mote quínoa: a) remojo, b) cocción, c) enfriado, d) envasado y pesaje, e) sellado y f) refrigeración (5°C).

Fuente:
 Susana Valenzuela A.
 (Universidad de La Frontera)

La formulación de la mezcla harina: arroz (25%), maíz (25%), quínoa (39%), agar-agar (1%), murtilla en polvo liofilizado (10%), fue la que obtuvo la mayor aceptación por los panelistas. El 70 % de los panelistas la calificó con nota 5, que significa me gusta mucho. En el cuadro 4 se presenta la composición química de la formulación seleccionada y otras mezclas de harinas de marcas comerciales.

Cuadro 4: Composición química de mezclas de harinas con quínoa de la variedad Regalona Baer, comparada con dos harinas de marcas comerciales.

Parámetros	Mezcla de harinas libres de gluten* (100 g)	Mezclas de harinas libres de gluten comercial** (100 g)	Mezclas de harinas libres de gluten comercial** (100 g)
Energía (Kcal)	324	371	380
Proteínas (g)	8,84	2,0	2,8
Grasa (g)	1,93	1,2	0,10
Hidratos de Carbono disponibles (g)	67,8	83	87
Azúcares Totales (g)	7,03	0,9	0
Fibra dietaria (g)	7,62		
Fibra dietaria insoluble (g)	7,62		
Fibra dietaria soluble (g)	0		
Sodio (mg)	25,3	29	2,5
Calcio (mg)	4,77		
Fósforo (mg)	7,50		
Hierro (mg)	0,22		2,55
Magnesio (mg)	7,20		
Potasio (mg)	27,06		
Vitamina B2 (mg)	-		
Vitamina B1 (mg)	0,03		

* Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera. **Producto comercial.

La formulación que obtuvo la mayor aceptación, presenta un contenido de fibra dietaria insoluble 7,62 g/100g. Esta fibra generalmente se encuentra en las células de perispermo de todos los granos, está formada por hemicelulosa (Xilanos, galactanos, mananos, arabinosa, galactosa), pectinas, pentosanos, celulosa, beta-glucanos, glucofructanos y gomas. La quínoa no escapa de estos componentes que constituyen la estructura de las paredes celulares, y abundan más en las porciones externas que en las internas del grano (Repo-Carrasco, 1992).

La formulación seleccionada de harina tiene un aporte proteico de 17,68% de la dosis diaria de referencia (DDR) en una porción de 100 g (Directrices del Codex, 1993). La granulometría de la harina es de 200 µm – 750 µm. La vida útil de la harina envasada en Doy Pack Kraf y almacenada en lugar fresco y seco fue de 1 año.

10.4 Conclusiones

Se desarrollaron cuatro prototipos de productos (Bebida, flan, mote y harina en base a quínoa), presentado todos una muy buena aceptación por los paneles de degustación. Si bien la quínoa aun no es muy conocida por los consumidores, su incorporación en distintas preparaciones alimenticias es valorada positivamente en la medida que más consumidores se interioricen de sus atributos nutricionales. El hecho de ser un producto libre de gluten y alto valor nutritivo genera interés de las industrias, tanto para elaboración de suplementos exclusivos orientados a deportistas, niños en edad de crecimiento, personas con alergia alimentaria, tercera edad y en general en consumidores que buscan una alimentación más saludable.

Referencias Bibliográficas

- Directrices del Codex Sobre Etiquetado Nutricional. 1993. CAC/GL 2-1985, Rev. 1 - 1993[17]. <http://www.fao.org/3/y2770s/y2770s06.htm#TopOfPage>
- Repo-Carrasco, R. 1992. Andean Crops and Nourishment University of Helsinki Institute of Development Studies Report B25. Finland.
- Rustom, I., 1995. Development of a process for production of a beverage based on peanuts. University of Lund. Lund. Sweden. P.156.
- Schmidt-Hermann, H., Pennacchiotti I., Masson L y Mella M. 1990. Tabla de composición química de los alimentos chilenos. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química.Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.62 pp.

Anexo 1

Metodologías de análisis químicos

Items	Metodología
Azúcares totales	IQ-072 basado en Método de Munson y Walker
Calcio	IQ-059 basado en AOAC 968.08
Cenizas	NCh 842.Of1978
Energía	Por cálculo
Fibra Dietaria	IQ-070 basado en AOAC 991.53
Fósforo	IQ-069 basado en AOAC 965.17
Hidratos de Carbono disponibles	Por cálculo
Hierro	IQ-064 basado en AOAC 968.08
Humedad	NCh 841.Of1978
Magnesio	IQ-066 basado en AOAC 968.08
Materia Grasa	NCh 1370/3.Of1977 Carnes y productos cárnicos. Determinación de grasa
Potasio	Basado en AOAC 985.35
Proteínas	NCh 2748.Of2002
Sodio	IQ-059 basado en AOAC 968.08
Vitamina A	IC-072 Determinación de Vitamina A y E en Alimentos, por HPLC Fluorescencia
Vitamina B1 (Tiamina)	IC-083 Vitamina B1/B2 (Tiamina y Riboflavina) Determinación de Vitaminas Hidrosolubles en premezclas por HPLC-UV
Vitamina B2 (Riboflavina)	IC-083 Vitamina B1/B2 (Tiamina y Riboflavina) Determinación de Vitaminas Hidrosolubles en premezclas por HPLC-UV
Vitamina E (Alfa Tocoferol)	IC-072 Determinación de Vitamina A y E en Alimentos, por HPLC Fluorescencia



COMUNIDADES MAPUCHE

Domingo Canio N° 2

Domingo Caniu

Antonio Paine

Antonio Paine de Curileo