

Quínoa: Un súper alimento para Chile y el mundo



Nº 108 / Noviembre - Diciembre 2015 ISSN 0717-1609 www.inia.cl

Origen e historia del
cultivo de la quínoa en
Chile y el mundo

Programa de mejoramiento
genético de quínoa:
la nueva apuesta de INIA

Representante Legal:

Julio Kalazich B.
Director Nacional INIA

Director:

Luis Opazo R.
Jefe Nacional de
Comunicaciones INIA

Editora:

Andrea Romero G.
Periodista INIA

Editores Científicos

Pedro León L.
Andrés Zurita S.

Comité Técnico:

Iván Matus T.
Subdirector Nacional de I+D INIA

Horacio López T.
Secretario Técnico INIA

**Coordinadores Programas
Nacionales de INIA:**

Carlos Ovalle M.
Christian Hepp K.
Gabriel Sellés V.
Francisco Tapia F.
Fernando Ortega K.

Textos y Fotografías:

Investigadores, Autores y Archivo
Comunicadores de INIA.

Diseño:

Carola Esquivel
Viento Sur Comunicaciones



Noviembre - Diciembre 2015.

Publicación digital del Instituto
de Investigaciones Agropecuarias
(INIA), Ministerio de Agricultura,
Chile.

Dirección: Fidel Oteiza Nº 1956,
Piso 12, Providencia, Santiago.
Fono: +56 2 2 5771000.

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
TOTAL O PARCIAL SIN LA
AUTORIZACIÓN DEL INIA. LA
MENCION DE PRODUCTOS NO
IMPLICA RECOMENDACIÓN INIA

EDITORIAL



La quínoa representa una oportunidad para poner en práctica nuestros objetivos institucionales. Hace pocos años, este cultivo estaba olvidado y casi en abandono, sólo conservado por la sabiduría ancestral de los pueblos originarios, en una tradición de subsistencia de la Agricultura Familiar.

Junto a pequeñas comunidades agrícolas del norte y la zona centro-sur, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ha articulado un trabajo inclusivo, con fuerte protagonismo de la mujer, para contar con la primera colección de 203 ecotipos chilenos de quínoa, que se conserva en el Banco Base

de Semillas de INIA en Vicuña. También fueron repatriadas algunas quínoas chilenas.

Después de la recuperación de este patrimonio, estamos avanzando en su mejoramiento genético para lograr variedades que nos permitan proyectarnos en el mercado nacional y mundial, pensando en un desarrollo inclusivo y sustentable para Chile. Por eso, como siempre, este trabajo lo estamos realizando en conjunto con las comunidades, las agricultoras y los agricultores que por años han sembrado este cultivo.

La colaboración está permitiendo definir técnicamente protocolos de cultivo para las distintas zonas del país, pues una de las fortalezas de la genética chilena de la quínoa es que ha logrado sustentabilidad no sólo en el altiplano, sino en el centro-sur, de la mano del pueblo Mapuche.

Aunque persisten tareas pendientes, la quínoa es un producto estratégico, al que las Naciones Unidas dedicó el Año Internacional en 2013 por su relevancia para la seguridad alimentaria del planeta, en un escenario de creciente demanda de alimentos saludables y con el cambio climático y la escasez hídrica como telón de fondo.

Los organismos internacionales, la industria de los alimentos y la medicina han vuelto su mirada a la quínoa, también requerida en las mesas gourmet y por los exigentes consumidores de productos "orgánicos", quienes la han incorporado a sus innovadoras redes de comercialización. Demanda que aumenta cada año, con buenos precios internacionales para un grano por cuya conservación debemos agradecer a los pueblos originarios y su relación ancestral con la naturaleza. Sin duda, un producto que como institución y Ministerio de Agricultura vamos a potenciar y desarrollar.

Julio Kalazich B.
Director Nacional INIA

ÍNDICE



4-9

El rescate de la quínoa en Chile



10-13

Quínoa: un cultivo aliado en la erradicación del hambre



14-17

Origen de la quínoa e historia de su domesticación



18-21

Dinámica de la expansión mundial de la quínoa



22-27

El aporte de comunidades indígenas y locales a la conservación de la quínoa



28-33

INIA: hacia la conformación de una colección nacional de quínoa



34-37

Diversidad genética de la quínoa en Chile



38-41

Programa de Mejoramiento Genético de Quínoa: la nueva apuesta de INIA



42-47

Sequía, frío y salinidad: respuesta de la quínoa al desafío ambiental



48-51

Avances en el manejo agronómico del cultivo de quínoa en Chile



52-55

Procesamiento y manejo de post-cosecha del grano de quínoa



56-61

Diversidad de los cultivos de quínoa en Chile



62-67

Quínoa: oportunidad y desafío para la agricultura familiar campesina en Chile



68-73

¿Es rentable la producción de quínoa en Chile?



74-78

Mercado real y potencial de la quínoa en Chile

El rescate de la quínoa en Chile

Luis Opazo

Periodista M.C.E. Jefe Nacional de Comunicaciones INIA
lopazo@inia.cl

Andrea Romero

Periodista Encargada Comunicaciones Dirección Nacional INIA
andrea.romero@inia.cl



EL MUNDO HA VUELTO SU MIRADA A LA QUÍNOA. CONSIDERADO COMO UNO DE LOS ALIMENTOS DE MAYOR FUTURO POR LA FAO Y RECOMENDADO POR MÉDICOS, NUTRICIONISTAS Y CHEFS, LA QUÍNOA TAMBIÉN SE GANA UN ESPACIO EN CHILE Y EL INIA ES UNO DE LOS ACTORES PRINCIPALES EN SU RESCATE Y PUESTA EN VALOR.

No sólo en los campos está el sello del INIA. Está también en la mesa cotidiana de los chilenos: está en el pan, en las papas, el arroz, los cereales y hasta en los vinos y en las carnes de res y de cordero, por mencionar sólo algunos de los alimentos y variedades de productos desarrollados por la principal institución de investigación agroalimentaria de Chile.

En esta edición especial de Tierra Adentro, el INIA ha centrado su mirada en la quínoa. Un cultivo ancestral que está siendo rescatado y revalorizado en todo el mundo gracias a sus grandes cualidades para el mejoramiento de la nutrición y la seguridad alimentaria mundial. Considerado como el alimento del futuro, la quínoa, además, abre una gran oportunidad para las comunidades rurales a lo largo de Chile y para la economía del país.

“En los últimos años se ha visto que la quínoa y sus derivados están generando un mercado con una demanda creciente”, dice **Claudia Carbonell**, directora nacional de ODEPA, institución dependiente del Ministerio de Agricultura, que entre otras funciones entrega regularmente información estadística de producción.

Carbonell piensa que esta mayor demanda se debe a la toma de conciencia de las personas por una alimentación más sana. “La demanda de los mercados gourmet y de los consumidores bien informados hacen prever que el cultivo de quínoa en Chile es

promisorio”. La ingeniera agrónoma de la PUC pone como condiciones para mantener el crecimiento de la quínoa en Chile el rol que jugarán en el futuro los productores chilenos, sobre todo quienes logren “pasar de un cultivo de subsistencia a un negocio rentable, sustentable y ligado a mercados locales e internacionales”.

La quínoa empieza a mostrar cifras sorprendentes en casi todo el planeta, pero donde más impacto produce en las economías locales es en nuestros vecinos de Perú y Bolivia, al igual que en Ecuador, naciones que en conjunto concentran el 80% de la producción mundial. “El crecimiento de la demanda mundial de quínoa ha sido muy variable, aumentado aproximadamente a un ritmo promedio anual de 12% en los últimos diez años, pero con variaciones de 167% en ese mismo periodo”, escribe en su artículo publicado en esta edición, Rodrigo Pizarro de la empresa Gestión Agrícola. En su informe Pizarro afirma que de 1992 a 2002 las ventas se multiplicaron 4 veces, mientras que del 2002 al 2012 lo hicieron por 39 veces.

El director nacional de INIA, Dr. **Julio Kalazich**, no duda en calificar a la quínoa como un alimento estratégico. “En un escenario de demanda creciente de alimentos y en una sociedad que está buscando alimentos más sanos, la quínoa es un producto que debemos conocer más y potenciarla en todos los ámbitos. No olvidemos que en 2013



Claudia Carbonell
Directora Nacional ODEPA

“En los últimos años se ha visto que la quínoa y sus derivados están generando un mercado con una demanda creciente”.



Dr. Julio Kalazich
Director Nacional de INIA

“En un escenario de demanda creciente de alimentos y en una sociedad que está buscando alimentos más sanos, la quínoa es un producto que debemos conocer más”.



Ingrid von Baer
Ingeniera agrónomo Agrogen

“Estudios demostraron que el germoplasma chileno de quínoa de la costa presenta una mayor variabilidad y se diferencia del andino”



Banco base de Semillas INIA.

la FAO celebró el Año Internacional de la Quínoa”, dice.

Un foco importante para INIA es el mejoramiento genético. Es así que este cultivo ingresó al listado de los programas de mejoramiento genético que actualmente desarrolla la institución al igual que desde mucho antes lo hiciera con el trigo, las papas, el arroz, la avena, los porotos, el zapallo, la cebolla, el ajo, los forrajes, entre muchos otros, y últimamente la uva de mesa, cerezas, manzanas, entre otros cultivos, hortalizas y frutas, todos ellos alimentos chilenos con el sello de INIA. Kalazich enfatiza que “la importancia de avanzar en el desarrollo de variedades propias y la producción de semillas certificadas, le otorga seguridad al país y permite su progreso, ya que quien maneja la genética, maneja el mercado alimentario”.

El director nacional explica que hoy los investigadores de INIA “están preocupados de generar

nuevas variedades que logren mayores producciones, de mejor calidad, pero no sólo eso. Hoy dos de nuestros ejes estratégicos son el cambio climático y la agricultura sustentable, por eso estamos desarrollando variedades eco-eficientes que aprovechen mejor los fertilizantes y el agua, que sean tolerantes a la sequía y más resistentes a las enfermedades y, con ello, menos dependientes de los agroquímicos y, por supuesto, que permitan largos viajes y llegar en óptimas condiciones a mercados lejanos, entre otras variables que demandan los mercados modernos”.

Los expertos coinciden que Chile tiene notables ventajas respecto de la quínoa debido a múltiples factores y porque su cultivo ha sido preservado no sólo en el altiplano andino, sino en la zona centro-sur del país. Es un cultivo asociado a nuestros pueblos originarios aymará, quechua y mapuche. Al respecto, la ingeniera

agrónomo de la empresa Agrogen, **Ingrid von Baer**, explica que recientes estudios demostraron que por ejemplo el germoplasma chileno de quínoa de la costa presenta una mayor variabilidad y se diferencia del andino. “Es así como las del sur de Chile se adaptan al largo de día y horas grado de esta zona; en cambio, las quínoas andinas, sembradas en la zona sur no logran adaptarse. Generan flores, algo de semillas, pero no completan su proceso de maduración, por lo que no es posible ni rentable sembrar variedades y genotipos provenientes de la zona andina en el sur de Chile, debido a que no maduran y son de bajo rendimiento”, explica la profesional, quien además enfatiza que Semillas Baer fue pionera en buscar alternativas a los cultivos tradicionales, como el trigo y avena, al establecer en 1978 un Programa de Mejoramiento Genético de la Quínoa “cuyo principal objetivo es

generar variedades adaptadas a la zona sur de Chile, con características de grano requeridas por el consumidor, de mayor rendimiento, mejor índice de cosecha, ciclo fenológico más corto, menor altura y cultivares aptos para ser cosechados en forma mecanizada”, dice Von Baer. La profesional concuerda con el INIA en que hay un gran potencial para producir quínoa en Chile, “pero se requiere de variedades adaptadas a las diferentes zonas agroclimáticas”.

Pero no todo es miel sobre hojuelas. Aún persisten tareas pendientes, desafíos y nuevos avances en importantes materias. Una de las falencias que identifican los expertos en la producción de quínoa en Chile es la baja transferencia tecnológica y la falta de mayor inversión en investigación a fin de mejorar el estándar de producción de este cereal.

Iván Matus, subdirector nacional de I+D del INIA, asegura que en Chile el uso de la tecnología es bajo, como también son bajos y muy desequilibrados los rendimientos, los que fluctúan entre 180 y 1.000 kilos por hectárea, un promedio de 600 kilos por hectárea, prácticamente el 50% de los rendimientos de los países productores de quínoa en condiciones agroecológicas similares.

Desde ODEPA no esconden la serie de dificultades que hay que sortear antes de ver el auge del sector y ver aumentar las hectáreas sembradas, los rendimientos y el número de productores. Claudia Carbonell asegura que entre las dificultades que deben ser resueltas en los próximos años van desde el manejo de suelo y su fertilidad, el déficit de infraestructura y tecnología de riego (se estima que los rendimientos se quintuplican en cultivos con riego); el control de plagas y enfermedades; hasta la escasa y frágil asociatividad de los productores

desde el punto de vista organizacional y comercial, debido principalmente a los escasos canales de comercialización, y la falta de asesoría especializada.

“A esto hay que agregar el factor etario para el aumento de la producción de quínoa en nuestro país”, enfatiza Carbonell, argumentando que “hoy, por lo general, estamos frente a un segmento de productores de quínoa de edad avanzada, que suelen ser más reticentes a la innovación”.

Según **Germán Levy Acuña**, productor de quínoa de la región del Biobío, lo más complejo es el control de malezas. “Hay que estar preparado y hacer un manejo integral previo a la siembra para llegar lo más limpio posible durante el desarrollo del cultivo. La clase de suelo es muy importante también. Por último, hay que considerar la fecha de siembra, ya que condiciona la cosecha. Al sembrar más tarde es más complejo encontrar máquinas cosechadoras”, dice este agricultor que sueña con especializarse en la producción de quínoa porque es “un cultivo que aumenta mucho su demanda y porque hay oportunidad de industrializarse, aunque sea a pequeña escala, permitiendo, además, desarrollar productos innovadores y simples”, explica.

Para muchos agricultores, emprendedores y campesinos, como también para los investigadores y autoridades la quínoa ha sido un aprendizaje de prueba y error.

Carlos Küpfer Cadena, agricultor de la región de Coquimbo, es un emprendedor ambicioso al tratar de desarrollar el ciclo completo de la quínoa desde el cultivo hasta el producto final listo para su consumo. “Nos interesa la trazabilidad y el desarrollo de productos orgánicos, sin certificación, ya que el cultivo lo permite y el mercado lo pide”, explica Küpfer y entrega detalles valiosos en la producción de una quínoa de



Iván Matus
Subdirector Nacional de
I+D del INIA

“En Chile el uso de la tecnología es bajo, el 50% de los rendimientos de los países productores de quínoa en condiciones ecológicas similares”.



Germán Levy Acuña
Productor de quínoa de la
región del Biobío

“Un cultivo que aumenta mucho su demanda y porque hay oportunidad de industrializarse, aunque sea a pequeña escala, permitiendo, además, desarrollar productos innovadores y simples”.



Carlos Küpfer Cadena
Agricultor de la región de
Coquimbo

“Nos interesa la trazabilidad y el desarrollo de productos orgánicos, sin certificación, ya que el cultivo lo permite y el mercado lo pide”.

alta calidad. "Creo que es hacia donde nos debemos enfocar, ya que es prácticamente lo único que podemos cultivar debido a la falta de agua", asegura.

Lo que hagamos con las pequeñas comunidades agrícolas y la asociatividad público-privada serán un factor clave para el desarrollo de la quínoa en Chile. Es así como desde 2013 viene funcionando la Mesa Nacional de la Quínoa, una instancia público-privada, coordinada por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), que tiene por objetivo conocer la realidad del sector, levantar sus problemáticas y coordinar actividades en apoyo de los productores, que les permitan lograr un desarrollo más competitivo del rubro.

El INIA también ha articulado un trabajo inclusivo, con fuerte protagonismo de la mujer, con la idea de contar con la primera colección de 203 ecotipos chilenos de quínoa, que se conserva en el Banco Base de Semillas INIA Vicuña. También fueron repatriadas algunas quínoas


chilenas. Sobre este tema, Julio Kalazich explica que desde la recuperación y conservación de nuestro patrimonio genético hasta las primeras investigaciones sobre los métodos de cultivo, "hemos tenido que practicar, por decirlo así, una transferencia tecnológica de ida y vuelta: coleccionar, aprender, sistematizar conocimientos y experimentar en un trabajo inclusivo de colaboración".

También hay logros importantes: el segundo semestre de 2013, los 203 ecotipos de quínoa chilena ingresaron para ser conservados e investigados como colección y patrimonio genético en la red de Bancos de Germoplasma (semillas) de la institución, bajo condiciones tecnológicamente controladas de temperatura y humedad, y se encuentran en etapa final de regeneración, caracterización y evaluación agronómica.

Además, se está avanzando en la caracterización fenotípica y funcional de cerca de 80 accesiones y, paralelamente, se está analizando la diversidad genética en 96

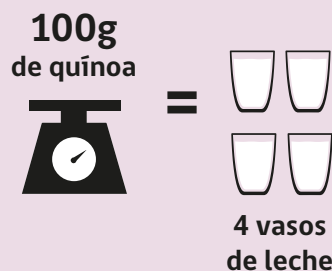
genotipos, junto con determinar las respuestas frente al estrés por déficit hídrico. En estos procesos, se destaca el uso de moderno instrumental molecular.

Por último, el interés por este cultivo también se observa en los distintos estudios científicos y ensayos que se están realizando, con el fin de introducir la quínoa en otras regiones del país. Pero para esto la principal institución de investigación agroalimentaria de Chile ha debido verificar información básica y muy relevante como la fecha de siembra. "Existe muy poca información disponible sobre cuándo es mejor sembrar en aquellas zonas donde actualmente se cultiva la quínoa. Más incierto es el dato en aquellas zonas potenciales", señala Iván Matus.

La dosis de siembra, las cantidades apropiadas de fertilizante (nitrógeno), los ritmos asociados al crecimiento de la planta y los ciclos de la naturaleza también son registrados por el INIA intentando determinar estos factores, en un cultivo que a cada momento reclama la mano del hombre. 

ATRIBUTOS DE LA QUÍNOA

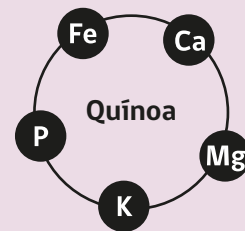
Las características nutricionales de la quínoa son superiores a las de otros vegetales, ya que se trata de un alimento completo, que posee todos los aminoácidos esenciales que requiere el ser humano (leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano y valina).



El grano de quínoa contiene entre 11% y 20% de proteínas de alta calidad, que lo ubican por encima de cereales como arroz (7,6%), cebada (10,8%), maíz (10,2%) y trigo (14,2%); y lo hace comparable a la leche como fuente proteica.

Tiene importantes cantidades de vitamina del complejo B y, entre sus minerales, presenta contenidos de litio, lo que podría ayudar a las personas con problemas de depresión.

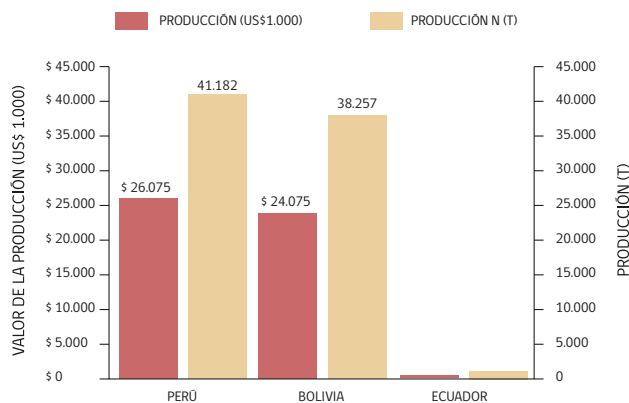
También presenta abundante calcio que es fácilmente absorbido por el organismo, debido a la presencia simultánea de zinc, lo que la hace muy recomendable



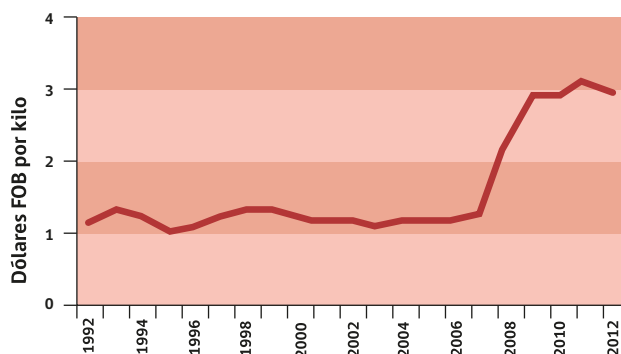
365 kcal/ 100g

para evitar la descalcificación y la osteoporosis. Comparada con los cereales, la quínoa tiene mayor cantidad de fósforo, potasio, magnesio, hierro y calcio, pero un bajo aporte calórico, de 365 kcal/100g, en promedio. Además, se caracteriza por su alto contenido en fibra.

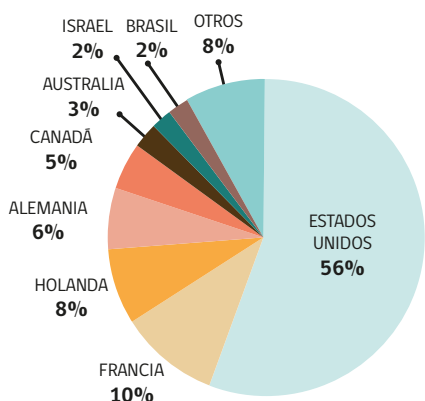
Principales productores de quínoa (2012)



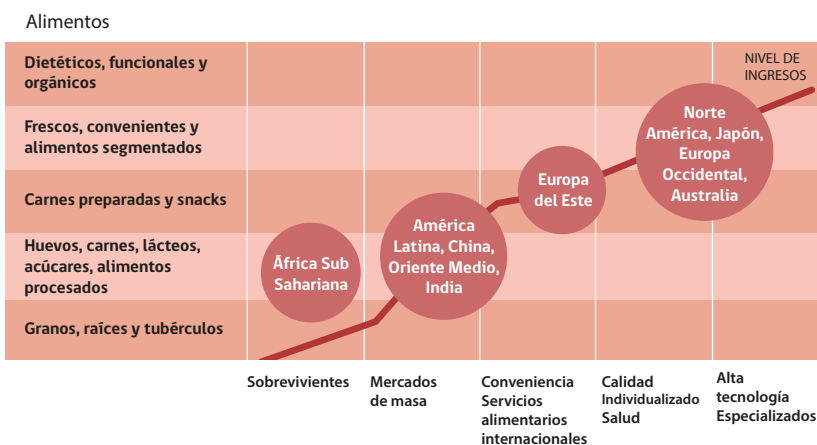
Evolución del precio de exportación de la quínoa: 1992-2012



Destino de las exportaciones regionales de quínoa



Tipo de alimento vs. atributos y características de los alimentos



Contenido de macro-nutrientes en la quínoa y otros alimentos seleccionados, por cada 100 gramos de peso seco

	Quínoa	Frijol	Maíz	Arroz	Trigo
Energía (Kcal/100g)	365	367	408	372	392
Proteína (g/100g)	16,5	28,	10,2	7,6	14,3
Grasa (g/100g)	6,3	1,1	4,7	2,2	2,3
Total Carbohidratos (g/100g)	69,0	61,2	81,1	80,4	78,4

COMERCIO INTERNACIONAL

Actualmente la quínoa se cultiva en más de 70 países. Los principales productores son Bolivia y Perú, que concentraron el 90% de la producción. Ecuador, Estados Unidos y Canadá tienen cerca de 10% de la producción mundial. Chile ocupa el lugar 26 de acuerdo al volumen exportado y 20 en valor exportado (2012).

CONSUMIDORES

Del volumen importado, EE.UU. demanda el 45,3% y Canadá el 14% y Francia el 12%. En Sudamérica los principales importadores son Brasil (578t) y Argentina (249t). Chile en 2012 importó 68t de quínoa. Según estudios y datos de ODEPA estas cifras están en constante crecimiento registrando 161 toneladas de quínoa en el año 2014.

COMERCIO NACIONAL

Chile no sólo importa quínoa, sino también la exporta. El principal destino ha sido Canadá, pero también se han realizado exportaciones a Alemania, Estados Unidos, Argentina y Bolivia. Por el norte del país se produce un flujo natural del producto hacia Bolivia, principalmente por los buenos precios alcanzados por la quínoa en ese país.

PRECIOS

En 2012 los precios de Bolivia promediaron US\$ 3.114 por tonelada de quínoa. En 2013 han alcanzado casi US\$ 6.000 por tonelada, debido a la demanda internacional. En Chile los precios fluctúan entre \$ 400 y \$ 1.500 por kilo para la quínoa bruta, sin procesamiento. Los precios más altos se obtienen en la zona norte, por la cercanía de Bolivia.

Quínoa: un cultivo aliado en la erradicación del hambre

Salomón Salcedo

Economista Agrario, M.Sc. Oficial Senior de Planificación y Estrategia
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
Salomon.Salcedo@fao.org



LA QUÍNOA PUEDE DESEMPEÑAR UN PAPEL IMPORTANTE EN LA ERRADICACIÓN DEL HAMBRE Y EL ALIVIO DE LA POBREZA RURAL CONTRARRESTANDO ASÍ LA MANO INVISIBLE DEL MERCADO. PERSPECTIVAS, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DEL GRANO DE ORO EN EL MUNDO.

En su más reciente edición, El Estado de la *Inseguridad Alimentaria en el Mundo*¹ señala que durante el período 2011-2013 hubo un total de 842 millones de personas —alrededor de una de cada ocho en el mundo— aquejadas de hambre crónica. De éstas, 47 millones viven en América Latina y el Caribe.

Alcanzar la seguridad alimentaria para todos y todas, y asegurar que las personas tengan acceso a alimentos de buena calidad que les permitan llevar una vida activa y saludable, es la esencia de las actividades que emprende la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En este contexto, la quínoa puede desempeñar un papel importante en la erradicación del hambre por dos

grandes razones: sus cualidades nutricionales, donde destaca su elevado contenido de proteínas, el buen balance de sus aminoácidos esenciales y el contenido de vitaminas, minerales y ácidos grasos; y su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, dado que distintas variedades de quínoa pueden adecuarse a diversos climas y condiciones geográficas.

IMPORTANCIA DE LA QUÍNOA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

En 2013 se celebró el Año Internacional de la Quínoa el que tuvo como objetivo centrar la atención mundial sobre el papel de la biodiversidad de la quínoa y su valor nutricional en la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza

en apoyo al logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM1).

En efecto, lo que se trató de buscar fue un catalizador para la creación de conocimientos y promover la producción y consumo sostenible de la quínoa.

Algunos resultados previstos incluyeron:

- Sensibilizar sobre la quínoa y cómo ésta puede contribuir a aliviar el hambre y la malnutrición.
- Lograr una mejor comprensión de los mercados, oportunidades, limitaciones y canales de distribución de la quínoa, con vistas a vincular a los productores de comunidades indígenas con estos mercados y ampliar la red comercial existente.
- Obtener mejores conocimientos científicos y técnicos e intercambio de información sobre la quínoa.
- Desarrollar programas y proyectos encaminados a promover la ampliación de las fronteras de la quínoa más allá de los Andes.

INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA

Para lograr estos objetivos se estableció el Comité Internacional de Coordinación, liderado por el gobierno de Bolivia, con vicepresidencias de Ecuador, Perú y Chile; y relatorías de Argentina y Francia. En 2013 la FAO delegó a su Oficina Regional para América Latina y el Caribe en Santiago de Chile, la tarea de facilitar el desarrollo del Año Internacional de la Quínoa, en su función de Secretaría Técnica.

En la oportunidad se formaron Comités Nacionales en Argentina, Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia, Chile y Francia, convirtiéndose estos países en actores estratégicos en la coordinación de la

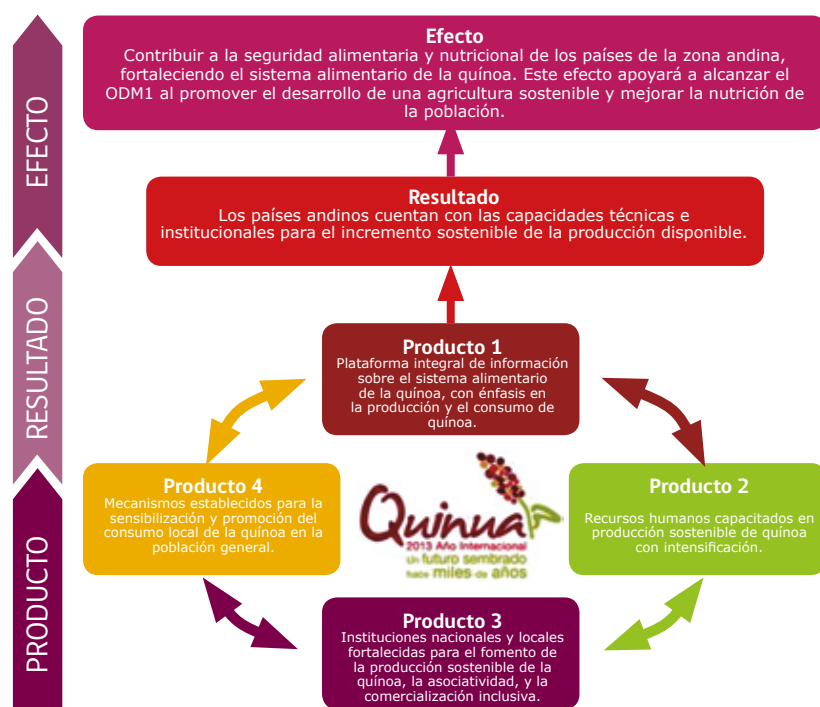


Figura 1: Marco de resultados del proyecto regional quínoa.

1 <http://www.fao.org/docrep/018/i3434e/i3434e00.htm>

visión de ese año internacional con las realidades locales.

En colaboración con institutos de investigación y universidades, se generó información científica sobre la quínoa. Así se publicó junto a Bioversity, "Descriptorios para quinua y sus parientes silvestres²", publicación que tuvo por objeto aumentar la utilización y conservación de los recursos fitogenéticos. Se espera que estos descriptorios contribuyan a los estudios sobre el análisis de la diversidad genética, el manejo del germoplasma, la definición de nuevos materiales y variedades, y características útiles para el mejoramiento de los cultivos y de la nutrición.

Del mismo modo, se trabajó en una serie de publicaciones y documentos con el fin de mejorar los conocimientos científicos y técnicos disponibles a la fecha y promover el intercambio de información sobre la quínoa: "Estado del arte de la quinua en el mundo", en colaboración con CIRAD; Catálogos de variedades de quínoa; "Recetario internacional de la quinua", en colaboración con la iniciativa "Chefs contra el Hambre"; un libro sobre plagas y enfermedades que podrían afectar la quínoa, "Guía sobre el cultivo de la quinua", y "Tendencias y perspectivas del comercio mundial de la quinua". También se fue conformando una base de datos de expertos en diversos temas relativos a la quínoa, una base de datos de germoplasma, y se actualizó la publicación "Quinua: un cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial", entre otros.

PRODUCCIÓN

Se ha buscado hacer todo lo posible para garantizar que la quínoa mantenga su carácter de cultivo de la "agricultura familiar", a pesar de los retos emergentes que conlleva el incremento en la

demanda. Un ejemplo de estos esfuerzos es un proyecto regional que está desarrollando la FAO en conjunto con los Ministerios de Agricultura de Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú.

Como se puede observar en el marco de los resultados del proyecto (Figura 1), su enfoque es el de otorgar asistencia técnica para la intensificación sostenible de la producción de quínoa y el fortalecimiento del sistema alimentario en los países de la zona andina. De manera complementaria, la FAO, en colaboración con la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), implementó en Chile durante 2013 un proyecto enfocado en el "Diseño de Negocios Sostenibles para el Mercado de la Quínoa".

Este cultivo, sin embargo, ha trascendido las fronteras continentales. Tal como se observa en la Figura 2, existen países fuera de la zona andina que están generando una producción significativa. Asimismo, existe información sobre países en Asia, África y Europa que están trabajando de forma experimental con el cultivo. Por ello, además de los proyectos de Cooperación Técnica en Chile y en la región Andina, se formularon proyectos de cooperación que incluyen unos 24 países en África, Asia y el Medio Oriente.

El Comité Internacional de Coordinación (CIC) y la Secretaría Técnica del Año Internacional de la Quínoa, en su papel de facilitador, promovieron el intercambio de conocimientos entre países tradicionalmente productores y países interesados en el cultivo potencial de quínoa. A la fecha, los impactos ya han comenzado a ser visibles, ya que países no productores están solicitando apoyo técnico para comenzar a cultivar este grano. Por ejemplo, investigadores peruanos han viajado a Yemen con el fin de compartir sus experien-

cias y conocimientos en torno al cultivo de la quínoa; en la República Popular China se ha comenzado el cultivo para apoyar el desarrollo de pequeños agricultores familiares; y se empieza a acelerar el movimiento científico relacionado con la quínoa en Japón, EE.UU., Francia, Marruecos, Ecuador, Perú, Italia, Argentina, Bolivia, entre otros.

CONSUMO Y COMERCIO

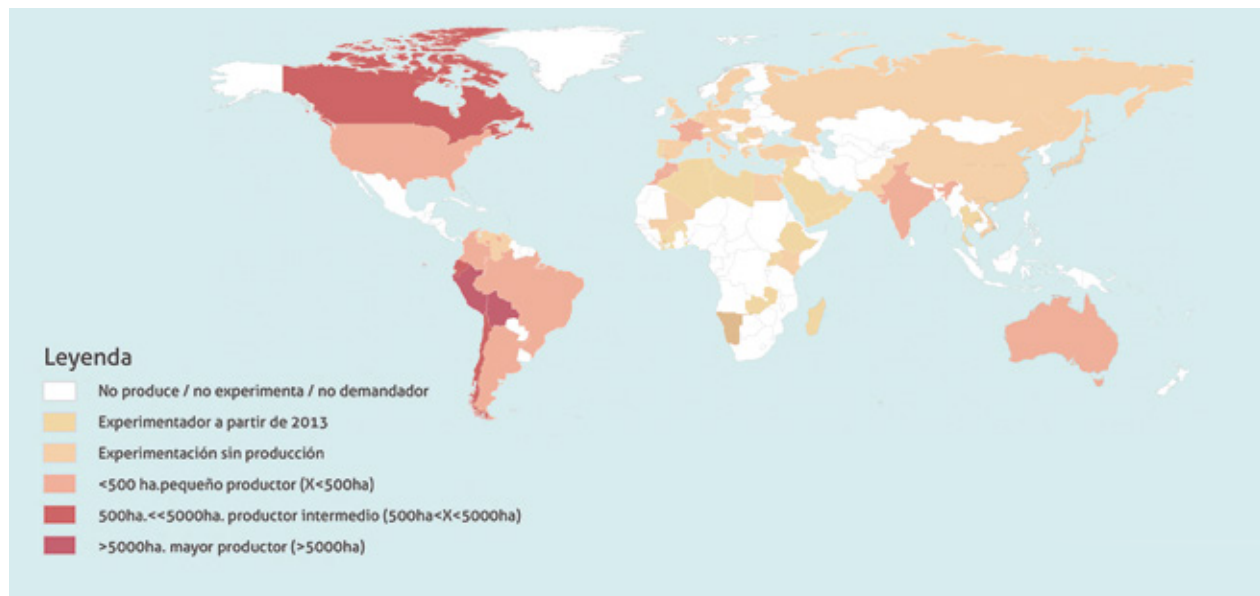
La producción y el consumo de la quínoa han aumentado significativamente en los últimos años. Según FAOSTAT, entre los años 1992 y 2010, las áreas cultivadas y la producción total en los principales países productores -Bolivia y Perú- se han casi duplicado y triplicado, respectivamente.

Naturalmente, el comercio de la quínoa ha seguido las tendencias progresivas de la producción y el consumo. Con el fin de dar a conocer dichas tendencias, la FAO y la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) desarrollaron un estudio sobre "Tendencias y perspectivas del comercio mundial de la quínoa³".

PERSPECTIVAS

El Año Internacional de la Quínoa fue el primer paso de un proceso en curso y un catalizador para la gestión del conocimiento, y la generación de programas de mediano y largo plazo que promuevan tanto la producción sostenible como el consumo local de la quínoa. Esto con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de los países. Los impactos ya son visibles. Sin embargo, es natural que al igual que cualquier otro alimento, existan desafíos en el incremento de su producción, consumo y comercio.

Figura 2. Mapa de la producción mundial de quínoa.
(Adaptado de Bazile *et al*, 2014)



DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

En el aspecto científico, en los años recientes se ha visto un incremento considerable en el número de investigaciones y publicaciones en torno a la quínoa. Sin embargo, existe la necesidad de diversificar la investigación y realizar estudios que, además del aspecto productivo del cultivo, contemplen también otros temas, como el procesamiento industrial, la nutrición, la comercialización local, regional e internacional, y temas de carácter antropológico, social, y cultural.

En el aspecto técnico, existe la necesidad de generar mecanismos para democratizar la información y el conocimiento, de generar materiales técnicos en base a la investigación disponible y accesible en diversos idiomas, de crear una red sólida de investigadores para el intercambio continuo de información y un diálogo de conocimientos.

Uno de los temas de importancia destacada es el del uso sostenible de los recursos genéticos de la quínoa. Para lograrlo, son indispensables: la identificación e implementación de instrumentos nacionales e internacionales para el uso e intercambio

de germoplasma, la inclusión de la quínoa en el Anexo I del Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y Agricultura, la distribución equitativa de beneficios con las comunidades, la conservación *in situ* con la participación activa de los pequeños productores y su incorporación en programas de investigación.

En el aspecto político, se necesita impulsar políticas públicas que fomenten sistemas alimentarios eficientes e inclusivos, que promuevan la investigación y las alianzas estratégicas e intersectoriales, el comercio justo y la repartición equitativa de beneficios.


Es imprescindible, a su vez, el abordaje de temas sociales tales como evitar la exclusión del pequeño productor, incluir a la quínoa en la canasta básica de alimentos e incorporarla en la dieta de los sectores más vulnerables, la educación nutricional y el consumo local, entre otros.

CONCLUSIÓN

Los resultados del Año Internacional de la Quínoa pueden ser considerados muy favorables, ya que se logró

una mayor sensibilización sobre el papel potencial de la quínoa para contribuir a la seguridad alimentaria mundial y al alivio de la pobreza rural. A través de las investigaciones científicas y técnicas, se contribuyó a una mejor comprensión de los mercados, las oportunidades y las limitaciones de la quínoa como un sistema alimentario sostenible y se logró impulsar el interés de países en desarrollo para cultivar la quínoa como una alternativa saludable.

Sin embargo, su eficiencia, sostenibilidad, y equidad serán fuertemente influenciadas por el mercado. Un mayor conocimiento de este cultivo debería contribuir a que todas las partes interesadas de la cadena de valor puedan tomar mejores y más informadas decisiones, contrarrestando así los efectos no deseados de la "mano invisible" del mercado.

No obstante, para lograr los resultados esperados, es indispensable que los países establezcan políticas públicas que favorezcan el cultivo sostenible de esta planta y que promuevan el desarrollo de los pequeños productores que han cultivado, mantenido y preservado este "grano de oro". 

El origen de la quínoa y la historia de su domesticación

Ángel Mujica

Ph.D. Director Programa Mejoramiento Genético Quinoa,
Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
amhmujica@yahoo.com



ORIGINARIA DE LAS ORILLAS DEL LAGO TITICACA, CULTIVADA Y UTILIZADA POR LAS DIFERENTES CIVILIZACIONES PREHISPÁNICAS EN AMÉRICA Y CON UNA GRAN HABILIDAD DE ADAPTARSE A DIVERSAS CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS, HOY LA QUÍNOA TIENE UNA DISTRIBUCIÓN MUNDIAL.

La zona andina comprende uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas del mundo, dando origen a uno de los sistemas agrícolas más sostenibles y con mayor diversidad genética del planeta.

La quínoa (*Chenopodium quínoa* Willd) es una planta andina que muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia, encontrándose la mayor diversidad entre Potosí, Bolivia y Sicuani (Cusco), Perú.

Existen pocas evidencias arqueológicas, lingüísticas, etnográficas e históricas sobre la quínoa. Sin embargo, hay evidencias claras de la distribución de sus parientes silvestres, botánicos y citogenéticos, lo que demostraría que su domesticación tomó mucho tiempo, hasta conseguir la planta domesticada y cultivada a partir de la silvestre.

Es probable que este proceso se haya iniciado con la planta usada principalmente por sus hojas en la alimentación y, luego, por las semillas. Hoy, las especies y parientes silvestres se usan localmente como **Chiwa, Jataco o Llipcha** (verdura de hoja) en muchas comunidades del área andina.

Además, la especie fue adaptada a diferentes condiciones agroclimáticas, edáficas (relativas al suelo) y culturales, haciendo que la planta presente una amplia adaptación hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar y usos diversos en las diferentes comunidades étnicas, de acuerdo a sus

necesidades alimentarias.

La quínoa fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas, y reemplazada a la llegada de los españoles por los cereales, a pesar de constituir un alimento básico de la población de ese entonces.

En el pasado tuvo una amplia distribución geográfica que abarcó en Sudamérica desde Mérida, Venezuela y Nariño en Colombia hasta Tucumán en Argentina y el archipiélago de Chiloé en Chile. También fue cultivada por los mayas y los aztecas en los valles de México, siendo denominada "Huauzontle" por estas culturas precolombinas, quienes la usaban como verdura de inflorescencia; lo que puede explicarse como una migración antigua de quínoa, por tener caracteres similares de grano, y por haberse obtenido descendencia al realizarse cruzamiento entre ellos (Heiser y Nelson; 1974).

La quínoa en la actualidad tiene distribución mundial: en América, desde Estados Unidos y Canadá, hasta Chiloé en Chile; en Europa, Asia y el África, obteniendo resultados aceptables en cuanto a producción y adaptación.

Su origen aún es complejo, especialmente porque están involucradas muchas posibilidades. Se sugiere la participación de dos especies diploides¹ en el origen de *C. quínoa*, por lo que sería un anfídiploide² con herencia disómica³, siendo el pariente silvestre más cercano de *C. quínoa*, *C. hircinum* y de *C. nuttalliae* el silvestre *C. berlandieri* respectivamente.

LA QUÍNOA EN LA ÉPOCA PREINCAICA

Las poblaciones nativas preincaicas practicaron una agricultura intensiva, usando riego, abonamiento, rotaciones y construcciones con modificaciones ambientales, como: **warus** o **suqakollos**, andenes o terrazas, **qochas** o **qotañas** y **canchas**, no sólo para conservar la diversidad y variabilidad de plantas, sino para mantener la fertilidad del suelo y aumentar la producción agrícola.

El hecho de que las semillas de quínoa se desarrollaran en tamaño y cambiaran su color de negro a amarillo, rosado y blanco, es una clara muestra de que el hombre andino practicó con éxito la domesticación y el mejoramiento genético de esta especie.

La quínoa se convirtió en uno de los alimentos básicos de las poblaciones preincaicas debido a su alto valor nutritivo, curativo, especialmente proteico, vitamínico y poseedor de elementos minerales esenciales, y a su gran adaptabilidad a las condiciones ambientales adversas de los Andes altos, donde el maíz y la papa dulce no crecen.

En esos tiempos, la quínoa se usó también como planta medicinal para el tratamiento de abscesos, hemorragias, luxaciones y otras dolencias.

Las poblaciones nativas involucraron la quínoa en sus ceremonias religiosas, siendo elemento ritual, teniendo objetos de adoración que llamaron "quinuamamas".

1 Diploide: individuo con dos juegos de cromosomas.

2 Anfídiploide: es un Tetraploide cuyas células somáticas contienen los cromosomas diploides complementarios de las dos especies parentales. Y

Tetraploide: Individuo con cuatro juegos de cromosomas.

Figura 1. Cultivos incas



LA QUÍNOA EN LA ÉPOCA INCAICA

Cuando los incas establecieron su reino en el Cusco (1100-1533 d. de C.), reconocieron pronto las extraordinarias cualidades nutritivas y agrícolas de la quínoa y le dieron el nombre quechua “chisiya mama” que significa “grano madre” o Quiuna. Además, le atribuyeron fuerzas mágicas, por lo que convirtieron la siembra y cosecha del cultivo en fiestas religiosas. Sirvió durante las marchas de conquista como alimento concentrado para el ejército inca y, así, a través de la extensión de su reino, la distribuyeron sistemáticamente desde Chile hasta Colombia. Gracias a su gran habilidad de adaptarse a las diversas condiciones agroclimáticas, la quínoa pronto se utilizó en todo el imperio como fuente alimenticia relevante, junto al maíz y la papa. No se exagera por tanto al decir, que la quínoa ha sido una de las bases más importantes sobre la cual se establecieron las grandes culturas precolombinas. Luego de su domesticación inicial, la quínoa fue probablemente adaptada en muchos lugares de Bolivia, Ecuador, Colombia, Chile y Perú. Luego fue mejorada por los incas, utilizando métodos de selección hasta obtener los actuales ecotipos, y muchos ecotipos que constituyen multilíneas adecuadas para una mejor adaptación y resistencia a factores abióticos adversos y que fueron ampliamente distribuidas a los cuatro suyos del Tahuantinsuyo.


Figura 2. Imagen incaica



También la quínoa fue transformada en platos típicos de la población inca, obteniéndose el famoso **kispiño**, además del **katawi**, el **pesque**, el **muccu**, la **paruja**, el **sanqu**, el **ajja** y otras preparaciones actualmente recuperadas por la población campesina de los Andes. Perú y Bolivia poseen la mayor diversidad y variabilidad, teniendo las mayores colecciones de ecotipos de quínoa.

CONCLUSIÓN

La quínoa es originaria de las orillas del lago Titicaca, habiéndose extendido por todo el altiplano además de valles interandinos y otras zonas. Ha ido adquiriendo diferentes adaptaciones y modificaciones de acuerdo al clima, suelos, precipitación pluvial, altitud, intensidad de domesticación y mejoramiento por los diferentes grupos humanos y culturas que las utilizaron.

Hoy se encuentran nueve grupos de quínoa: quínoas de altiplano, de valles interandinos, de salares, de zonas secas y áridas, de zonas frías y altas, de costa, de ceja de selva y zonas tropicales, quínoas de altas precipitaciones y parientes silvestres. El grupo de las reales está en los territorios del intersalar de Salinas de Garci Mendoza, Uyuni, Coipasa, Llica y Colcha Q, produciendo en condiciones extremas de déficit hídrico. Su nombre originario es Jiuya. 

GLOSARIO

DEL QUECHUA:

- **Ajja:** Chicha obtenida de la quínoa.
- **Canchas:** Cercos de piedra.
- **Cañihuaco:** Harina tostada de cañihua.
- **Chaquitaklla:** Herramienta manual para labranza del suelo.
- **Inti:** Sol.
- **Jataco/Llipcha:** Verdura de hoja.
- **Kañihua:** Grano andino pariente de la quínoa.
- **Kuntur:** Cóndor.
- **Kussa:** Bebida obtenida de la quínoa.
- **Layme/Manda:** Lugar de siembra de la diversidad.
- **Muku:** Empanada de quínoa.
- **Pata pata:** Andén poco elaborado.
- **Qochas:** Pequeñas lagunas.
- **Rutuchi:** Primer corte de cabellos de los niños.
- **Sanqu:** Plato a base de harina de quínoa.
- **Warus:** Camellones.

DEL AYMARA:

- **Ajara:** Quínoa silvestre.
- **Aynoka:** Lugar de siembra de la diversidad.
- **Chiwa:** Verdura de hoja.
- **Jiura:** Quínoa.
- **Kañawa:** Grano andino pariente de la quínoa.
- **Katawi:** Mazamorra de quínoa.
- **Kispiño:** Panecillo de quínoa.
- **Maranis/Paccos:** Autoridades de la chacra.
- **Muccu:** Empanada de quínoa para morder.
- **Paruja:** Quínoa con sangre de llama.
- **Pesque:** Plato a base de quínoa.
- **Qotaña:** Pequeñas lagunas.
- **Suqakollos:** Camellones.
- **Yapukampus:** Autoridades de la chacra.

La Quínoa en la Conquista

Cuando los conquistadores españoles llegaron a los países andinos al comienzo del siglo XVI se enteraron de la importancia de la quínoa, como se puede leer en los siguientes reportes de los cronistas de aquel tiempo.

“La región es abundosa de todos los mantenimientos que siembran los indios, así como maíz, papas, quinua”. [Informe realizado en 1551, por Pedro de Valdivia a Carlos I sobre los cultivos en Concepción, Chile].

“En todos estos pueblos se da poco maíz a causa de ser la tierra fría y la semilla de muy delicada; mas críanse abundancia de papa y quinua y otras raíces que los naturales siembran”. [1560, Cieza de León sobre las tierras altas entre Pasto y Quito].

“La semilla de quinua, junto con el maíz y la papa, constituyeron las principales sustancias alimenticias empleadas por los antiguos peruanos; los que denominaron tanto a la planta como a las semillas con la voz “Quinua” en Keshua y con la voz “Hupa”, en aymará; también aprovechaban en la alimentación las hojas tiernas cocidas” y “El segundo lugar de las mieses que se crían sobre la haz de la tierra dan a lo que llaman ‘quinua’ y en español ‘mijo’ o arroz pequeño, porque en el grano y el color se le asemeja algo”. [Garcilaso de la Vega en su libro Comentarios Reales].

Más información acerca de la utilización de la quínoa en el Perú la encontramos en la Historia del Nuevo Mundo de 1890 y escrito por el padre Bernabé Cobo: “Solo tres géneros de semillas dio el creador a los naturales de esta tierra que les sirve de pan, que son: el maíz, la quinua y el chiau”. Agregando que: “Los tallos y las hojas de quinua cocidos y comidos con aceite, vinagre y azúcar, tienen la facultad de ablandar el vientre; su cocimiento o zumo con algunas gotas de vinagre, es contra las inflamaciones, y añadiendo azúcar, es buen gargarismo para las inflamaciones de garganta. La simiente de esta hierba cocida en agua con leche o frasa de la olla aumenta la leche

de las paridas, y se ha hallado por experiencia, y así lo he visto yo usar, ser muy provechoso para cualquier caída tomar una escudilla de quinua, con que se evita el daño que con las caídas podía resultar. De la caña o tallo de la quinua quemado hacen los indios una ceniza que llaman “Llucta”, de la cual amasada hacen unos bollos o panecillos que comen por salva con la coca”.

No obstante, los conquistadores no aceptaron a la quínoa, no así con los cultivos de la papa y del maíz; y más bien la rechazaron y suprimieron. Por esta actitud sorprendente hay diferentes explicaciones hipotéticas:

- La introducción de cereales que se adaptaron sin problemas a las zonas andinas, y abastecieron a los conquistadores con su querida cerveza (cebada) y con su pan de costumbre (la quínoa a diferencia del trigo no contiene gluten, necesario para la panificación).
- La introducción de ovejas y bovinos. Con estas fuentes de proteína animal, la importancia anterior de la quínoa, como una de las pocas fuentes proteicas de la dieta, disminuyó.
- El contenido de saponina de la semilla de quínoa. Esta sustancia amarga tiene que ser eliminada a través de un trabajo proceso manual de lavado, antes de la preparación y consumo del grano.
- El miedo de los conquistadores a la “quinua mágica”. Ellos temían que el consumo de quínoa y las ceremonias religiosas con la misma, podrían atribuir fuerzas extraordinarias a los indios y poner en peligro la conquista.

Sea por estas u otras razones, su cultivo fue prohibido; sustituido por trigo y otros cereales no autóctonos, probablemente debido a la veneración que le daban los incas. Se sabe que la religión hizo mucho daño en estos países imponiendo su doctrina mediante la fuerza y la violencia en el nombre de un “dios más moderno”.

La dinámica de la expansión mundial de la quínoa

Didier Bazile

Agroecólogo y Geógrafo, Investigador CIRAD,

Experto invitado FAO ¹

didier.bazile@fao.org



Parcela cultivada en Mali. Centro
Experimental Katibougou / Koulikouro
Proyecto ICGEB-TWAS 2007

LAS PRIMERAS ETAPAS DE EXPANSIÓN DE LA QUÍNOA EN EL MUNDO MOSTRARON EL INTERÉS DE LOS PAÍSES IMPORTADORES Y CONSUMIDORES PARA ADAPTAR ESTE CULTIVO A SUS AMBIENTES DEL HEMISFERIO NORTE. UNA NUEVA FASE ESTÁ EMPEZANDO Y CONSIDERA LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS A NIVEL GLOBAL Y LA SALINIZACIÓN DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS PARA EXPERIMENTAR LA QUÍNOA EN PAÍSES ACTUALMENTE NO CONSUMIDORES.

La quínoa representa una alternativa como nuevo cultivo frente a los cambios globales (Schlick y Bubenheim, 1996; Jacobsen, 2003). Así, el aumento de la tasa de salinización de las tierras agrícolas, debido a una intensificación de la agricultura convencional desde los años '60, conduce en primer lugar a una disminución de la producción agrícola y luego, según el territorio, al abandono de los suelos degradados. La tolerancia de la quínoa a suelos salinos ofrece una alternativa no sólo para recuperar estas tierras, sino para producir al mismo tiempo alimentos de alto valor nutricional. Considerando el empeoramiento del clima dentro de los cambios globales, la resistencia de la quínoa a la sequía genera expectativas para regiones del mundo que están muy afectadas por estos factores.

LA INTERNACIONALIZACIÓN DE LA QUÍNOA: UN HECHO HISTÓRICO

Además de su diversidad de especies, es preciso estudiar en profundidad la distribución mundial del género *Chenopodium* -de antiguas raíces-, para entender bien el desarrollo actual de la quínoa cultivada.

Así, es preciso considerar como un hecho histórico que el uso de semillas de *Chenopodium* para la alimentación humana no es exclusivo de la región andina. En los Himalayas se cultiva una especie de Chenopodiaceae (clasificada como *Chenopodium album*) en altitudes que van de los 1.500 hasta los 3.000 metros sobre el nivel del mar. La misma especie es conside-

rada hoy como una maleza cosmopolita en Europa, aunque fue parte de la alimentación humana de acuerdo a restos humanos prehistóricos encontrados en Tollund (Dinamarca) y Cheshire (Inglaterra). También *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttaliae*, especie similar, se consume en México.

Se puede destacar que los *Chenopodium* cultivados están ganando importancia. *Chenopodium quinoa*, comparte su nicho alimentario con dos especies estrechamente relacionadas, la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y el Huazontle (*Chenopodium nuttaliae*) que actualmente se utilizan para la alimentación humana también.

Si nos relacionamos con el complejo proceso de la evolución de la quínoa a partir de sus diferentes ancestros silvestres, para explicar no sólo su domesticación sino también las grandes etapas de su historia, y considerando los aspectos genéticos de su dinámica evolutiva, podemos destacar cuatro momentos.

La primera etapa de la vida de la quínoa habría ocurrido cuando los dos ancestros diploides hibridan para crear la primera forma de quínoa silvestre. Una de las hipótesis sugiere que primero se cruzaron un pariente femenino, *Chenopodium standleyanum* proveniente de la América templada, y un pariente masculino, *Chenopodium album* de Eurasia. Otra hipótesis propone que *C. ficifolium*, a través de un proceso de hibridación natural, generó un ancestro tetraploide en el

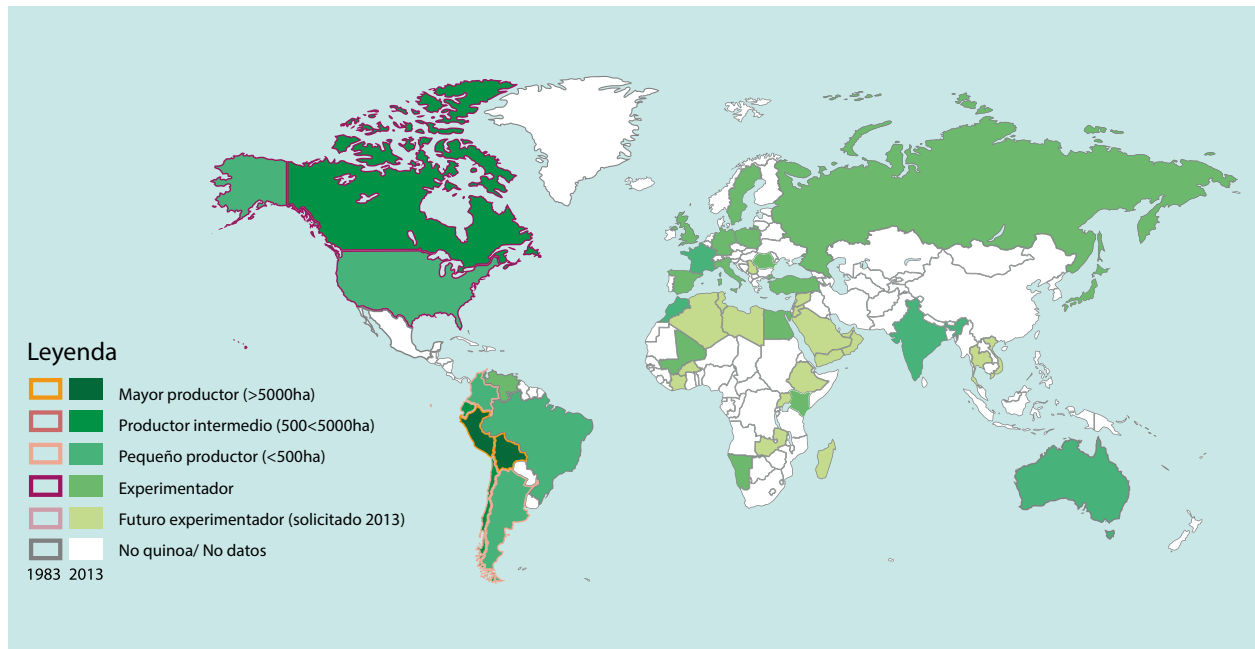
Nuevo Mundo. *C. berlandieri* y *C. hircinum* corresponden a formas tetraploides a partir de las cuales la domesticación del ancestro de la quínoa actual fue posible generando la segunda etapa de su evolución (Jellen *et al.* 2013). Pero esta tercera etapa de diversificación de la especie después de su proceso local de domesticación en los alrededores del lago Titicaca, se detuvo con la conquista española por varias razones: una depreciación del producto como "comida de indios", el rechazo de su uso como bebida para ceremonias culturales (*Muda*) por la iglesia católica, y el cambio de los patrones alimentarios a través de la escolarización y de las políticas de modernización agrícola. El auge de la quínoa en los años '80 corresponde a la cuarta etapa de su dinámica evolutiva con su difusión actual a todo el mundo.

IMPORTANCIA DE LA BIODIVERSIDAD DE LA QUÍNOA PARA SU DIFUSIÓN MUNDIAL

El proceso ancestral de domesticación de la quínoa se desarrolló utilizando la diversidad de los recursos genéticos de la especie. Ésta se encuentra estrechamente asociada a distintas zonas geográficas con contextos ecológicos específicos, determinando en su conjunto la capacidad de sobrevivencia de la quínoa, y creando a lo largo del tiempo múltiples formas dentro la misma especie.

Debido a la existencia de adaptaciones particulares de quínoa en diferentes zonas a lo largo de Los Andes, se reconocen

Figura 1. Expansión del cultivo de quínoa de 1983 a 2013.
(Adaptado de Bazile *et al*, 2014)



cinco ecotipos que corresponden a: quínoa de los valles interandinos (Colombia, Ecuador y Perú), quínoa del Altiplano norte (Perú y Bolivia), quínoa de las Yungas (Bolivia), quínoa de los salares o Altiplano sur (Bolivia, Chile y Argentina) y quínoa de la costa o de nivel del mar (Chile centro y sur, al menos hasta Chiloé).

Desde los '80, la quínoa ha experimentado un notable "boom" debido al incremento de la demanda regional e internacional.

Por sus características nutricionales y por su resistencia a factores adversos, la quínoa atrajo también el interés de investigadores de Europa y Norteamérica, y hubo varios intentos por introducirla a partir de los años '80 en latitudes altas (López-García, 2007; NRC, 1989).

¿Pero se puede cultivar en ambientes templados? Los intentos iniciales condujeron siempre a fracasos de los primeros ensayos con materiales de Perú y Bolivia que no alcanzaban a madurar en el verano de las altas latitudes.

Los requisitos para la agricultura templada están presentes precisamente en las accesiones del ecotipo de quínoa del nivel del mar de las zonas sur y centro de Chile.

UN RECONOCIMIENTO MUNDIAL A PARTIR DE 1973

Aunque en la actualidad sólo dos países andinos —Bolivia y Perú— concentran la mayor parte de la producción mundial de quínoa, el cultivo realmente comenzó a expandirse a partir de los años '80. En ese momento, Estados Unidos experimentó por primera vez la quínoa en el sur de Colorado, antes de su expansión progresiva a otros estados. Hoy, junto con Canadá, donde la quínoa se cultiva en las planicies de Saskatchewan y Ontario (tradicionalmente ocupadas por praderas o zonas productoras de cereales), se estima que ambos países producen casi el 10% de la quínoa global. En Estados Unidos, los ensayos actuales de quínoa se desarrollan en la costa noroeste del Pacífico

con material chileno y muestran resultados muy prometedores. Aunque las extensiones parecen importantes en superficie, ellas quedan reducidas en comparación al volumen que se vende en Estados Unidos, que es siempre importado de América del Sur.

La introducción de quínoa en Europa se inició en 1978, también con germoplasma de Chile (Universidad de Concepción) que fue llevado, seleccionado y probado por Colin Leakey en Cambridge (Inglaterra) y en el valle del Loire (Francia). Este germoplasma más el germoplasma andino colectado por los investigadores Galwey y Risi, generó la base del programa de mejoramiento de la Universidad de Cambridge (Reino Unido) bajo el liderazgo de Nick Galwey. Desde Cambridge, la quínoa se distribuyó a Dinamarca, Holanda y otros países de Europa (Risi y Galwey, 1991).

En Inglaterra, la quínoa se utiliza como cultivo de cobertura donde se siembra sola o mezclada con colza. En Dinamarca es usada por personas alérgicas al gluten.

ENSAYOS AGRONÓMICOS MUNDIALES EN LOS AÑOS '90 Y 2000

En 1993, un proyecto de la Unión Europea se inició con ensayos agronómicos en Inglaterra, Dinamarca, los Países Bajos e Italia, así como las pruebas de laboratorio en Escocia y Francia. Pero seguramente el proyecto más importante en los '90 y que explica la expansión de la quínoa, fue el que comenzó en 1996 con una coordinación compartida entre la Agencia Danesa para el Desarrollo Internacional (DANIDA) y el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú. A través de esta primera red de cooperación internacional alrededor de la quínoa, hubo ensayos de campo en nuevos países, tales como: Suecia, Polonia, República Checa, Austria, Alemania, Italia y Grecia. Todos ellos han mostrado interés en la experimentación con quínoa y la mayoría se involucró en ensayos dirigidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), coordinados por la Universidad Nacional del Altiplano (Puno, Perú) y por el proyecto DANIDA-CIP.

El objetivo de este proyecto era conocer el estado del arte de la quínoa y realizar múltiples ensayos agronómicos a nivel internacional. Esta iniciativa aumentó significativamente los vínculos entre investigadores y el número de centros de investigación.

Desde esta época, Dinamarca (a través de la Universidad de Copenhague) asociado a Holanda (Universidad de Wageningen), se han interesado en el mejoramiento de la quínoa para su adaptación a varios ambientes. Así, crearon la primera variedad europea — Carmen— dirigiendo ahora la investigación a reducir el nivel de saponina, con el ejemplo de la variedad dulce Atlas.

A partir de esta visibilidad en

el mejoramiento de la quínoa, la Universidad de Copenhague (DK) sigue desarrollando nuevas pruebas de quínoa. Otras colaboraciones científicas recientes son las generadas durante el Proyecto SWUP-MED (2008-2012) para un uso sostenible del agua, a fin de asegurar la producción de alimentos en la región mediterránea frente al cambio climático. Este proyecto corresponde al último paso importante de la expansión de la quínoa, y vincula a numerosos socios de países de la Unión Europea (Italia, Portugal, Reino Unido, Países Bajos y Dinamarca) y países mediterráneos (Turquía, Marruecos, Egipto, Siria).

PERSPECTIVAS A PARTIR DE 2013

Las primeras etapas de expansión mostraron el interés de los países importadores y consumidores para adaptar el cultivo de quínoa a sus ambientes, como por ejemplo: Estados Unidos, Canadá, Francia, Reino Unido y Holanda. Otra etapa de la difusión mundial de quínoa fue la que consideró los cambios climáticos a nivel global y la salinización de las tierras agrícolas, siendo éste el caso de India (Barghava y col., 2006), Pakistán y China en el continente asiático. Luego, Australia que sigue esta misma dinámica, así como también países de los alrededores del mar mediterráneo y del norte de África.

Hoy, entramos en otra etapa de expansión, a raíz de que los nuevos países productores no son los países consumidores y/o importadores tradicionales. Así, esta ola de expansión de la quínoa se refiere a un conjunto de razones que incluyen la gran adaptabilidad del cultivo a partir de su alta diversidad genética, su resistencia a la sequía y tolerancia a la salinidad, su alto valor nutricional para la seguridad alimentaria de la población local y la posibilidad de generar nuevos ingresos a los agricultores.


CONCLUSIONES

La amplia diversidad genética de la quínoa ha permitido adaptar su cultivo a distintos tipos de suelos, particularmente suelos salinos y ambientes con condiciones muy variables de humedad, de altitud y de temperatura. Esta rusticidad y adaptabilidad constituye una ventaja mayor en un contexto de cambio climático y de salinización de las tierras agrícolas a nivel mundial.

La difusión de quínoa a nivel mundial se hace a partir de relaciones fuertes entre instituciones que comparten su material genético.

La promoción de la quínoa a través de variedades mejoradas, estandarizadas para alinearse con las normas de semillas vigentes o para "simplificar" las prácticas agrícolas vinculándose a una agricultura convencional intensiva, no generará la misma resiliencia frente a los cambios globales. Lo anterior, justifica el mantenimiento *in situ* de su diversidad.

La dinámica de expansión a nivel mundial del cultivo de la quínoa, puede generar amenazas para los agricultores si su cultivo sólo se sustenta en una base genética estrecha.

Más allá de las posibilidades que brinda la cadena de producción y valor de la quínoa para el desarrollo de territorios, se abre una interrogante con la ampliación del cultivo fuera de los países andinos. ¿Cómo garantizar una retribución justa y equitativa, según los términos del Convenio de Diversidad Biológica, para los agricultores de los países andinos por la selección realizada durante generaciones? ¿Cómo evitar que esto no influya sobre la disminución de la agrobiodiversidad de los nuevos países productores? 

El aporte de las comunidades indígenas y locales a la conservación de la quínoa

Didier Bazile

Agroecólogo y Geógrafo, Investigador CIRAD, Experto invitado FAO ¹
didier.bazile@fao.org

Max Thomet

Agrónomo, CET-SUR, Temuco, Chile
maxthomet@yahoo.com



Venteo de la quínoa, Cancosa.

LA DIVERSIDAD AGRÍCOLA, CREADA POR LOS CAMPESINOS, HA SIDO POSIBLE GRACIAS A UN SISTEMA DESCENTRALIZADO DE MANEJO DE SEMILLAS. CONSERVAR LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS PARA EL PAÍS REQUIERE ENTENDER EL ROL FUNDAMENTAL QUE CUMPLEN LAS COMUNIDADES INDÍGENAS EN LA CONSERVACIÓN *IN SITU* DE LA DIVERSIDAD AGRÍCOLA, ENTRE ESTO LA QUINOA.

La conservación de la biodiversidad es una preocupación global y clave para la comunidad internacional. El aumento de la tasa de extinción y la disminución de las especies es alarmante para el futuro bienestar de la población. Además, la gente en todo el mundo está manejando la diversidad biológica para la agricultura, la ganadería, bosques y muchos otros usos.

En este escenario, las comunidades campesinas son los curadores tanto de la biodiversidad agrícola en sí, como de los conocimientos necesarios para su gestión.

América Latina, específicamente el Altiplano de los Andes, es uno de los centros de origen de la biodiversidad de cultivos a nivel mundial. Esta región durante miles de años ha acogido una gran población en interacción con su agroecosistema.

Desde la antigüedad, la quinoa presenta un complejo proceso de interacciones geográficas, climáticas, sociales y culturales que han permitido gestionar su amplia diversidad genética en las principales zonas de cultivo. Cabe destacar que en estas interacciones el rol de los agricultores es central, ya que las prácticas productivas y la experimentación permanente se entrelazan con los sistemas y redes locales de intercambio de semillas, permitiendo la conservación *in situ* de la diversidad genética existente.

En la actualidad, es necesario tener una mejor comprensión de los procesos de intercambios de

semillas entre los agricultores, así como de las prácticas de producción y selección local de semillas; ya que alteraciones de estos procesos complejos afectarán la estructura y diversidad genética de la quinoa en el tiempo. En estos agroecosistemas, el rol de las especies silvestres también es relevante; hoy en día encontramos los parientes silvestres —ancestros de la quinoa— que han permitido un proceso de evolución permanente del cultivo a través de su mantención en las zonas de cultivo (al interior y en los bordes).

LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LA AGRICULTURA

La domesticación de una especie cultivada corresponde a un proceso largo y dinámico. A partir de ello, las migraciones humanas contribuyen al viaje de las semillas.

Así la presencia de la quinoa en diferentes lugares está asociada a prácticas de intercambio de semillas entre las comunidades. Pero para cultivarla fuera de su ámbito original de domesticación, se necesita una adaptación de la planta de quinoa a su nuevo ambiente por los agricultores, considerando la selección y reproducción de semillas (aquellas más adaptadas a las condiciones locales de suelo, clima, enfermedades o prácticas agrícolas).

La difusión y experimentación de millones de agricultores en América Latina generó, al final, una

alta diversidad infra-específica no solo en quinoa, si no en muchos otros cultivos. Esta diversidad es un activo de valor incalculable, creado y mantenido por todos los agricultores.

¿Desde cuándo estamos hablando de conservación de la biodiversidad en la agricultura? Desde siempre si consideramos el papel de los agricultores en la creación de la biodiversidad cultivada y su reproducción permanente en ciclos de producción agrícola. Y desde hace muy poco, si miramos sólo las colecciones *ex situ* en bancos de germoplasma, a partir de los años '60 principalmente. La diversidad de las "variedades locales", "variedades tradicionales" o "variedades campesinas" (*landraces* en inglés), constituye una metapoblación abierta según los términos de la ecología. Al contrario de las accesiones conservadas en los bancos de germoplasma, las variedades campesinas están en evolución permanente *in situ* por su adaptación continua al medio ambiente. Así para un agricultor, aunque nombra una variedad tradicional cualquiera, lo que importa para él corresponde más a la diversidad genética contenida en esta variedad (el genotipo) y a su expresión (el fenotipo), en un sistema de cultivo asociado a sus prácticas y gustos específicos (ambiente y cultura agrícola). Esta concepción dinámica de la conservación que sostienen los agricultores va a determinar las especificidades de la agrobiodiversidad.

Para mantener esta capacidad

de adaptación de los cultivos se necesita un manejo humano, activo y continuo. Las prácticas de conservación *in situ* en los huertos de los agricultores van más allá de la reproducción de una semilla.

Considerando sus prácticas agrícolas y culturales, los agricultores son creadores de diversidad porque a) han domesticado las plantas silvestres transformándolas en cultivos, b) incrementan la diversidad agrícola existente con el cultivo y contribuyen a la adaptación de las plantas cultivadas a nuevos ecosistemas y necesidades humanas, c) descubren cada día nuevas plantas para sembrar.

La conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola por los agricultores responde a sus propias necesidades pero, al mismo tiempo, está controlada por normas colectivas de solidaridad dentro o entre comunidades, lo que facilita el intercambio y la circulación de semillas. De esta manera, los agricultores intercambian las

semillas propias y también cultivan material exótico entre sus plantas habituales, con el fin de incorporar resistencia a patógenos, sumar variedades específicas con nuevos usos o para evitar las disminuciones de productividad.

Respecto a la necesidad de mantener estos espacios de intercambio para conservar *in situ* la agrobiodiversidad, ella se clasifica con dificultades dentro de una grilla privada/pública, y también individual/colectiva.

UNA QUÍNOA QUE LOS AGRICULTORES ADAPTAN A DIVERSOS AMBIENTES

La quínoa chilena tiene una alta diversidad. Aunque sea un cultivo menor en la agricultura chilena, ésta ocupa una de las extensiones geográficas más amplias (18°S – 47°S).

El proceso de domesticación de la quínoa se ha realizado en diferentes lugares, encontrándose ahora estrechamente asociado

a distintas zonas geográficas, creando múltiples tipos de quínoa dentro de una misma especie.

Debido a la existencia de estas adaptaciones particulares en diferentes macrozonas a lo largo de Los Andes, se reconocen cinco tipos o clases (ecotipos) asociados a sub-centros de diversidad. Chile cuenta con dos ecotipos, la quínoa de los salares y la quínoa de la costa o de nivel del mar.

UNA DIVERSIDAD DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS QUE ORIENTAN LA DIVERSIDAD GENÉTICA

En el norte chileno, la organización colectiva de la producción por comunidades es parte importante de la gestión de las parcelas agrícolas y del manejo de la quínoa. La mayoría de los trabajos agrícolas se hacen a mano. Las tierras colectivas se preparan y trabajan con grupos de trabajadores locales (*Ayne*) o con mano de obra exterior, pagando a bolivianos.

El fomento productivo impulsado por la Municipalidad de Colchane (región de Tarapacá) con mecanización e intensificación de la producción, va a cambiar las prácticas agrícolas, en particular aquellas vinculadas a la siembra, lo que incide en la conservación *in situ* de la diversidad de la quínoa.

En el Altiplano chileno se pueden ver fácilmente 8 tipos principales o variedades locales de quínoa (Cuadro 1) en el campo. Cada agricultor con su comunidad, elige las variedades según aspectos agronómicos, necesidades de transformación y/o usos culinarios. La estrategia comercial para vender su quínoa modifica la elección de sus semillas. Así, dos variedades ocupan un 42% de la superficie: 31% para la variedad blanca (*Quinoa Miska* o *Ch'ola*), 11% para la variedad amarilla y después viene la rosada (*Quinoa Pandela*). Para los agricultores del Altiplano,

Cuadro 1: Principales variedades locales de quínoa según las comunidades en el Altiplano chileno

Variedades	Principales Comunidades	Criterios
Mischka	Huaitane, Central Citani	Crecimiento rápido Mejor venta
Pandela	Ancovinto Huaitane Pisiga Choque Cotasaya Escapiña Central Citani	Resistencia heladas Grano más grande Mejor venta
Pera	Huaitane	Mejor sabor autoconsumo
Lirio	Pisiga Carpa Cotasaya	Sabor dulce para preparar quisquilla
Kanche	Pisiga Crapa Escapiña	Mejor sabor en harina
Churi	Pisiga C Central Citani	Mejor sabor y múltiples preparaciones
Ploma	Escapiña	Grano mas grande, difícil encontrar semilla

Diversas comunidades mapuches han re simbolizado el Trafkintu con el objetivo de intercambiar sus semillas y plantas



la quínoa es la única planta bajo un sistema de cultivo con una gestión central, a fin de asegurar una cosecha estable todos los años. Pese a que, por ejemplo, la variedad blanca es la preferida de la zona siendo cultivada por el 90% de los agricultores, ocupa solo un 31% de la superficie sembrada de quínoa en el Altiplano. Esto muestra la importancia para los agricultores de manejar una diversidad para enfrentar los cambios climáticos intra e interanuales. Cada uno de los agricultores siembra entre 2 y 6 variedades cada temporada con un promedio de 2,6 por agricultor. Así, la reproducción de sus semillas se torna un proceso profundo que nos permitirá aprender y entender mejor el aporte de las comunidades indígenas en la conservación *in situ* de la quínoa.

La lógica científica aplicada a la agricultura ha definido que las variedades para su conservación se deben manejar aisladamente, con el propósito de mantener su pureza evitando el cruzamiento con otras variedades. Por su parte, los campesinos de las comunidades andinas desarrollan prácticas para mantener la diversidad genética en su complejidad, pero facilitando la recombinación de los genes para generar nuevas variedades campesinas. Esta forma dinámica de la conservación *in situ* permite adaptarse a los cambios globales que enfrentamos hoy en día y aportan a la resiliencia de los sistemas. Así, el 66% de la siembras separan las variedades para producir una quínoa específica y un 34% de las parcelas de los agricultores andinos siembran con distintas variedades dentro de la misma parcela sin distinción (*siembra ch'ali*).

La distribución de las comunidades en el espacio altiplánico explica en parte las relaciones entre grupos y las posibilidades de intercambio de semillas. Como veremos a continuación, esto

Figura 1. Las variedades seleccionadas por las comunidades indígenas y pequeños campesinos representan un patrimonio genético que debe ser conservado.



también ocurre en el sur de Chile con comunidades mapuches. Esta solidaridad entre seres humanos para compartir semillas, corresponde desde siempre al origen de las sociedades agrarias, porque sin semillas no hay ni agricultura ni tampoco alimentos.

LA EXPERIENCIA DEL TRAFKINTU MAPUCHE

La quínoa es un cultivo alimentario, por lo que su presencia en el territorio mapuche se describe desde los primeros momentos en que el hombre occidental ingresa al territorio.

Sus hojas se utilizan ampliamente como verduras en la dieta humana y para la alimentación del ganado debido a que es una fuente rica y barata de proteínas, carotenoides y vitamina C, mientras que el grano es alto en aminoácidos, minerales, vitaminas, aceite y

antioxidantes naturales. Pero a lo largo del tiempo, se han generado muchos otros conocimientos tradicionales en medicina para humanos o remedios para animales frente a problemas urinarios, parásitos intestinales, etc. Estos conocimientos locales son importantes para el desarrollo de las investigaciones recientes sobre sus aplicaciones antitumorales, antifúngicas, y muchos otros beneficios medicinales de las hojas de diferentes especies del género *Chenopodium*.

El manejo del sistema de semillas y sistemas de intercambio representan una de las principales vías de acceso a las semillas para el pueblo mapuche. Entender estas prácticas culturales nos permitirá comprender los impactos de las formas de intercambio (*Trafkintu*) sobre la diversidad de variedades de quínoa cultivada por agricultores mapuches en la región de La Araucanía.

Esta actividad tradicional ha

ido desapareciendo dentro de las comunidades por diversas causas. Desde los programas de modernización agrícola, que rompen las articulaciones tradicionales de los campesinos en sus localidades, hasta las presiones de emigración sobre la juventud rural. Sin embargo, diversas comunidades, organizaciones mapuches y organizaciones no gubernamentales han re-simbolizado en los últimos años el *Trafkintu*, pasando de una actividad tradicional entre familias (o *Lof*), a encuentros públicos donde se reúnen masivamente campesinos/as a intercambiar sus semillas y plantas. Se identifican dos modalidades de intercambio: (a) actividades públicas que reúnen a campesinos/as de diversas comunas e intercambian sus semillas; (b) intercambios tradicionales a nivel local entre vecinos o dentro de la familia extendida. La mayoría de los campesinos realizan las dos

modalidades de intercambio.

Muchas de las variedades locales que se intercambian provienen de herencias familiares de sus comunidades y sólo una pequeña parte está asociada a una distribución mediante el desarrollo de proyectos de fomento del cultivo en comunidades mapuches y campesinas. La reactivación del flujo de semillas a través del *Trafkintu* como evento público durante los últimos quince años, ha permitido fortalecer una práctica social que genera un amplificador para la agrobiodiversidad local, y permite espacios de intercambio de los saberes asociados a la agricultura.

CONCLUSIONES

La utilización de la biodiversidad que las comunidades campesinas e indígenas han realizado durante la historia, ha contribuido al desarrollo de sistemas de producción con alta capacidad de resiliencia.

Las diversas variedades locales de este cultivo deben su existencia a miles de años de evolución bajo una domesticación y una reproducción campesinas. Este conjunto de modificaciones realizadas a

niveles morfológicos, fisiológicos y genéticos en los cultivos, permite hoy diferenciar una especie domesticada de su taxa silvestre. Sin embargo, los impactos de la Revolución Verde han debilitado, y en muchos casos destruido, gran parte de la diversidad de los campesinos. La erosión o pérdida en especies de uso agrícola ha sido el resultado de políticas que impactaron y transformaron culturalmente el mundo campesino e indígena.

Una estrategia recomponedora de esta biodiversidad debe considerar acciones que al menos fortalezcan la cultura agraria local, para que ésta se reproduzca en el tiempo. La diversidad agrícola creada por mujeres y hombres campesinos ha sido posible gracias a un sistema descentralizado de manejo de semillas. La amplia diversidad de objetivos que abordan los campesinos (as) sobre las variedades locales, sobrepasa las capacidades de comprensión desde la ciencia agrícola moderna, que se ha centrado en la búsqueda de la uniformidad global y reproducción de unos pocos genes de interés para cumplir su objetivo principal de mejorar los rendimientos.

El *Trafkintu* representa una forma autónoma de recuperación, renovación y conservación del flujo de semillas.

Éstas son intercambiadas una vez que los campesinos consideran que están “cansadas” y se requiere un cambio o “refrescamiento”. En los intercambios y en las propias comunidades se reconocen campesinos/as que poseen un gran número de variedades y un conocimiento muy desarrollado sobre diversos cultivos, entre esos la quínoa. Esas personas se reconocen como “curadoras”, especialistas locales que manejan una amplia diversidad agrícola y conservan los recursos genéticos de su pueblo. Las curadoras en la actualidad centran la responsabilidad de garantizar la calidad y confianza en los sistemas campesinos de intercambio de semillas de quínoa.

El rol fundamental que cumplen las comunidades indígenas en la conservación *in situ* de la diversidad agrícola está vinculado a la comprensión del territorio; así cualquier política que impacte negativamente en los sistemas agrícolas locales, tendrá un impacto en la biodiversidad. 🌱



Figura 2. La mayoría de los trabajos agrícolas se hacen a mano. Las tierras se preparan y trabajan con grupos de trabajadores locales o con mano de obra exterior, pagando a bolivianos.

El INIA en la conformación de una colección nacional de quínoa

Pedro León-Lobos

Encargado del Banco Base de Semillas, INIA Vicuña
pleon@inia.cl

Ana Sandoval

Banco Base de Semillas, INIA Vicuña
ana.sandoval@inia.cl

Enrique Veas

Agrodynamis
e.veas@agrodynamis.cl

Hernán Cortés

Agrodynamis
h.cortes@agrodynamis.cl



Diversidad de panojas en ecotipo de tierras bajas. 2-A: accesión Q1, Colchane.

EL TRABAJO REALIZADO POR EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS HA PERMITIDO REFRESCAR LAS SEMILLAS DE PRÁCTICAMENTE TODAS LAS ACCESIONES DE QUÍNOA CONSERVADAS EN SU BANCOS, LO QUE PERMITIRÁ CARACTERIZAR LA DIVERSIDAD GENÉTICA Y LA ESTRUCTURA DE LAS COLECCIONES PRESENTES.

Los recursos genéticos son esenciales para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria del país, pues son la base del mejoramiento genético para el desarrollo de nuevas variedades comerciales de plantas.

Por su parte, las variedades tradicionales y locales seleccionadas por las comunidades indígenas y pequeños campesinos representan un patrimonio genético que debe ser conservado. Esta diversidad agrícola puede ser mantenida *in situ* en huertos por los agricultores, o conservados *ex situ* (fuera de su condición natural), en bancos de germoplasma. El cultivo tradicional de las papas chilotas en el Archipiélago de Chiloé, así como los maíces, papas andinas y quínoas por las comunidades Aymaras en el Altiplano de las regiones de Arica-Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, son ejemplos de conservación *in situ*. El mantenimiento de germoplasma en bancos *in vitro*, colecciones en campo y bancos de semillas son las más utilizadas para conservar *ex situ* la diversidad genética asociada a los cultivos.

Las papas y especies frutales se conservan *in vitro* o en campo, dado que predomina la reproducción asexual (vegetativa) y porque el foco de conservación es el arreglo genético contenido en cada genotipo. Para la quínoa (quinua), al igual que para la mayoría de las leguminosas, hortalizas y cereales, la forma óptima es conservarlas en bancos de semillas. Esto porque las semillas tienen la

capacidad de ser secadas y almacenadas a temperaturas bajo cero, sin perder su viabilidad ni calidad durante décadas.

El Altiplano y la zona centro-sur de Chile forman parte del centro de diversidad de la quínoa. Aunque no es el lugar de origen de este cultivo, nuestro país presenta una importante diversidad genética asociada a la quínoa, donde lo más característico es la presencia de genotipos adaptados para crecer a bajas altitudes, cerca del nivel del mar (ecotipo de tierras bajas); condiciones totalmente distintas a las quínoas del Altiplano (ecotipo de salares), cultivadas entre los 2.500 y 4.500 metros de altitud. Además del Altiplano, la quínoa en Chile se ha cultivado tradicionalmente en el centro-sur, en zonas cercanas a la costa en las regiones de O'Higgins y La Araucanía.

La conservación *ex situ* de quínoa es hoy una necesidad

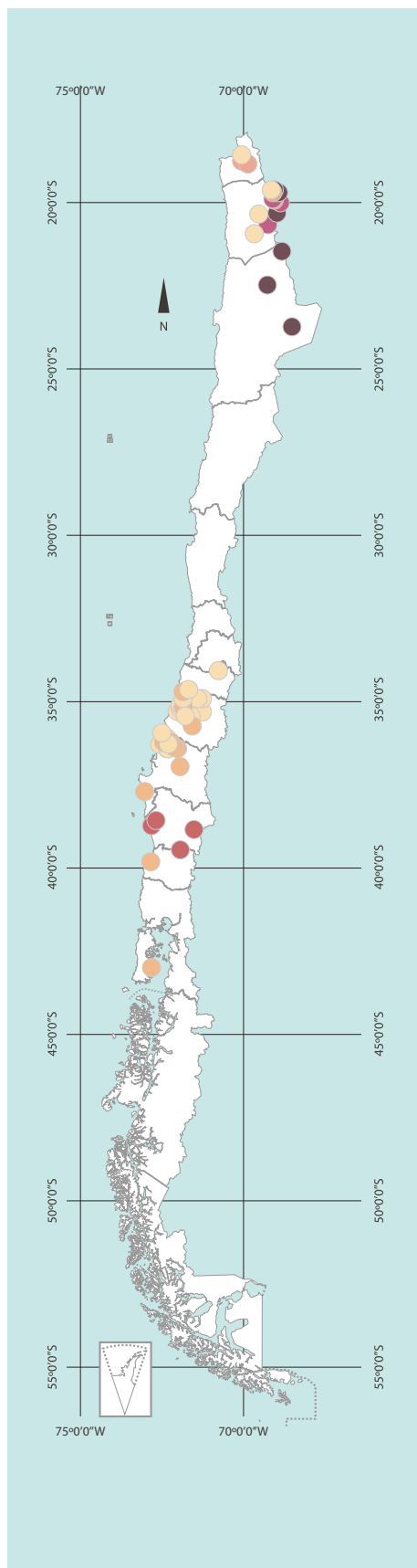
evidente para evitar la pérdida de su diversidad genética, a causa de la subutilización y reemplazo por cultivos -en teoría- más rentables. Esto, sumado a la necesidad de disponer de germoplasma para su investigación y posible uso en mejoramiento genético, motivó al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) a conformar una Colección Nacional Base de Quínoa, a través del Proyecto Red de Bancos de Germoplasma, con el financiamiento del Ministerio de Agricultura.

PROCEDENCIA DE LAS ACCESIONES DE LA COLECCIÓN BASE DE QUÍNOA

La Colección Base de Quínoa está formada actualmente por un total de 203 accesiones (Cuadro 1) y constituida a su vez, por 6 sub-colecciones diferenciadas principalmente por la o las instituciones de origen o procedencia.

Sub- colección	Origen de la accesión	Año de Ingreso	Nº de accesiones
INIA / JICA	Norte de Chile	1994	51
CEAZA - INIA	Centro-sur y norte de Chile	2004 - 2006	52
UNAP	Norte de Chile	2007	18
KM (CET-Sur)	Sur de Chile		6
INIA - CRBP	Norte de Chile	2012	40
UBA *	Centro-sur y norte de Chile, EE.UU., Inglaterra, Dinamarca	2012	36
TOTAL			203

Cuadro 1. Resumen de accesiones por sub-colección de quínoa conservadas en el Banco Base de Semillas, INIA Vicuña. UBA=Universidad de Buenos Aires, Argentina.



La primera sub-colección ingresada al Banco Base de Semillas fue recolectada en 1994 por INIA, en el marco de la construcción de los bancos de germoplasma, proyecto financiado por la Agencia Nacional de Cooperación de Japón (JICA) y el Gobierno de Chile.

Hoy, esta sub-colección está compuesta por 51 accesiones, recolectadas en su mayoría en la comuna de Colchane, en las localidades de Colchane y Enguelga, en el Altiplano de la región de Tarapacá (Figura 1). Posteriormente, entre 2004 y 2006, a partir de colectas realizadas por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) en conjunto con INIA, se ingresaron al Banco Base 52 accesiones de quinoa, recolectadas principalmente en la zona central de Chile, entre la región de Valparaíso y la región del Maule (Figura 1). En 2007, se ingresó un duplicado de la colección de quinoa conservada por la Universidad Arturo Prat (Iquique), proveniente del Altiplano de Chile, entre las comunas de Colchane y San Pedro de Atacama (Socaire) (Figura 1).

En 2010 se recibieron 27 accesiones desde el Centro de Estudios y Tecnología para el Desarrollo del Sur (CET-Sur). Sin embargo, la mayoría de éstas presentaban baja o nula germinación, por lo que se ingresó a regeneración, lo que permitió rescatar sólo 6 accesiones del total de las recibidas (Cuadro 1). En 2012, y en el marco del Proyecto Centro de Recursos Biológicos Públicos (CRBP), financiado por el Ministerio de Agricultura, se recolectaron 40 accesiones en el Altiplano de las regiones de Arica-Parinacota (Putre, Socoroma y Saxamar), Iquique (Cariquima, Panavinto, Escapiña, Colchane, Isluga, Enguelga, Mauque y Cancosa) y Antofagasta (Calama, Ollagüe, Socaire y Peine) (Figura 1), ampliando la representación de las quinoas altiplánicas en la colección nacional. Previamente, la mayoría de las accesiones de quinoa del norte de Chile provenía sólo de Colchane.

Finalmente, se repatriaron 36 accesiones chilenas contenidas en la colección de quinoa conservada por la Universidad de Buenos Aires, Argentina; algunas de las cuales

- CEAZA/ INIA
- CET Sur
- INIA
- INIA- RBP
- UBA
- UNAP

ANTECEDENTES GEODÉSICOS
WGS84
ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS
UTM
Fuente de Información
BASE DE DATOS INIA

Producido por Gustavo Bolados Corral - Ing. Forestal/ Instituto de Investigaciones Agropecuarias Banco Base de Semillas -INIA Vicuña

1 cm = 169 km

Figura 1. Localidades de procedencia original de las accesiones que conformar la actual colección de quinoa, conservada en el Banco Base de Semillas, INIA.



Diversidad de panojas en ecotipo de salares: 1-A.- Variedad Dorada Paredones.



Diversidad de panojas en ecotipo de salares: 1-B.- Accesoión KM 21, región de la Araucanía.



Diversidad de panojas en ecotipo de salares: 1-C.- Variedad Faro.

provenían de bancos de germoplasma de Europa y Estados Unidos (Cuadro 1).

La mayoría de estas accesiones repatriadas provienen originalmente de la zona centro-sur de Chile, entre las regiones de O'Higgins y el Maule (Pumanque, Cahuil, Nilahue, Paredones, Llico, Iloca, Docamiva, Nirivilo, Pilen y Loanco).

No obstante, cabe destacar la incorporación de una accesión cuya zona de origen es la Isla de Chiloé (Figura 1), donde el cultivo de quínoa prácticamente ha desaparecido.

REGENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA

Durante las temporadas 2011-2012 y 2013-2014, entre septiembre y mayo, se regeneraron y caracterizaron las accesiones que conforman

la Colección Nacional de Quínoa. Las accesiones procedentes del Altiplano (ecotipo Salares), se regeneraron y caracterizaron en la comuna de Colchane (19°16'Sur, 68°37' Oeste), sector de Central Citani, región de Tarapacá. Las quínoas del centro-sur de Chile se regeneraron en la Parcela Experimental Pan de Azúcar (29° 57' Sur, 71° 20' Oeste) de INIA Intihuasi, región de Coquimbo.

Para la regeneración en Pan de Azúcar, cada accesión fue sembrada en parcelas de 11 m². La siembra se realizó en forma manual, localizando la semilla a chorro continuo en la parte alta de la hilera, distribuidas en 3 hileras separadas a 0,7 m entre ellas, y regadas mediante cinta de riego. La muestra caracterizada correspondió a 10 plantas individuales de la hilera central.

Para la siembra de regenera-

ción en Colchane se utilizó la forma de cultivo ancestral empleada por las comunidades indígenas, que consiste en hacer hoyos de siembra. Para cada accesión se delimitaron parcelas de 19 m² donde se distribuyeron 9 hoyos con una profundidad de 8 cm. En cada hoyo se depositaron entre 10-12 semillas, las cuales fueron sembradas, para luego ser cubierto el hoyo con rastrojos de plantas de la zona, a fin de minimizar los efectos del viento, pérdida de humedad y evitar el exceso de radiación, entre otras condiciones adversas.

En ambas localidades, al inicio de la floración, 10 panojas individuales de cada accesión fueron cubiertas con bolsas de papel, para evitar la polinización cruzada entre accesiones diferentes. La cosecha de panojas se realizó entre abril y mayo de cada temporada.

La caracterización de las

accesiones de quínoa se basó en los descriptores consensuados internacionalmente para este cultivo (Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA, 2013). En total se consideraron 36 descriptores mínimos, que incluyen entre otros: forma de plantas, hojas y panoja, color de tallo y semillas, duración de estados fenológicos (Ej. Días a floración y a cosecha), y medidas morfométricas de varias estructuras de la planta de quínoa, como semillas, tallos, hojas y panojas.

CARACTERIZACIÓN: RESULTADOS PRELIMINARES

El análisis inicial de los datos de caracterización de quínoa muestra una alta variabilidad entre accesiones en cuanto a morfología y coloración (ver Fotografías 1 y 2).

Las accesiones regeneradas y caracterizadas en Colchane (Altiplano de la región de Tarapacá), presentaron plantas erguidas, con altura de planta promedio de 50 cm (variando

desde los 40 a 80 cm); con hábito de crecimiento ramificado hasta el segundo tercio, y un diámetro del tallo principal promediando los 9,8 mm. En tanto, la forma de sus panojas fue de tipo amarantiforme, con densidad de panojas compactas (Cuadro 2). El largo de la panoja promedió los 10 cm y un diámetro de 5,1 cm.

Las quínoas de la zona norte presentaron una gran diversidad de colores de panoja, en madurez fisiológica y color de semilla. El

Descriptores	Origen Accesiones	
	Altiplano	Centro-Sur
Tipo de crecimiento	Herbáceo	Herbáceo
Hábito de crecimiento	Ramificado hasta el segundo tercio	Simple y ramificado hasta el segundo tercio
Color del tallo principal	Púrpura, amarillo, verde y naranja	Verde (principalmente), rosado y amarillo
Color del peciolo	Verde y rojo (estriado/variegado)	Verde
Color de la lámina foliar	Verde	Verde y rojo (estriado/variegado)
Forma de la panoja	Amarantiforme e intermedia	Glomerulada e intermedia
Color de la panoja en floración	Rosada, amarilla, púrpura y roja	Amarilla, rosada
Color de la panoja en madurez fisiológica	Púrpura, amarilla, marrón y rosada	Amarilla y rosada
Densidad de la panoja	Compacta	Compacta e intermedia
Grado de dehiscencia	Regular y fuerte	Regular y ligera
Color del pericarpio	Crema y blanco	Crema
Altura de la planta (cm)	55,9 ± 12,5	136,6 ± 22,4
Diámetro del tallo principal (mm)	9,8 ± 1,7	10,7 ± 3,3
Número de ramas primarias	4,9 ± 1,8	2,2 ± 2,9
Nº dientes por hoja	7 ± 1	8 ± 1
Longitud del peciolo (cm)	1,8 ± 0,2	2,7 ± 0,2
Longitud Max. Hoja (cm)	5,4 ± 0,7	5,9 ± 0,5
Ancho Max. Hoja (cm)	4,5 ± 3,1	4,2 ± 0,4
Longitud de la panoja (cm)	10,4 ± 1,3	14,8 ± 0,8
Diámetro de la panoja (cm)	5,1 ± 0,7	5,9 ± 0,6
Rendimiento (kg/ha) (promedios)	1.202 ± 28	2.585 ± 45
Días emergencia	13,2 ± 1,5	6,6 ± 0,5
Días a floración	94,9 ± 2,9	79,7 ± 4,8
Días a madurez fisiológica	200,2 ± 5,7	146 ± 6,0

Cuadro 2. Tabla resumen con los resultados de la caracterización para los descriptores utilizados. Para los descriptores numéricos se indica el promedio más menos la desviación estándar.



Diversidad de panojas en ecotipo de tierras bajas. 2-B: variedad Camchi Putre.

color de las panojas varió desde las tonalidades amarillas pasando por naranjas, púrpuras, marrones, grises y rosadas, entre otras. Además, se caracterizaron por presentar un mayor tamaño de semillas (entre 2,20 y 2,32 mm de diámetro) en relación a las del centro-sur del país. Sin embargo, los rendimientos fueron bajos; un 50% menos en comparación a las quínoas del centro-sur, alcanzando entre 800 a 1.500 k/ha. El ciclo de cultivo promedió los 6 meses, iniciando la siembra en septiembre y cosechando en marzo- abril.

Las quínoas de la zona centro-sur se caracterizaron por ser plantas erectas, de crecimiento herbáceo, predominando el hábito de crecimiento simple, con altura de promedio de planta de 136 cm (Cuadro 2). El diámetro promedio del tallo principal fue de 11 mm y se caracterizó por presentar algo de ramificaciones. La forma de sus panojas fue glomerulada, con densidad de panojas compactas. En etapa de floración predominaron las tonalidades amarillas y el color de la planta en madurez fisiológica varió de amarillo a café. El

largo promedio de la panoja fue de alrededor de 15 cm y su diámetro alcanzó los 6 cm. Las semillas fueron de menor tamaño (1,96 a 2,02 mm de diámetro) comparado con las del Altiplano. El rendimiento estimado varió entre los 2.500 a 3.000 k/ha.

Estos resultados muestran una alta variabilidad entre las distintas zonas de origen. Además, dentro de la misma zona de origen se encuentran diferencias marcadas, lo que permitiría la adaptación de esta planta a distintas condiciones agroclimáticas y para distintos objetivos productivos (grano, saponina, forraje y materia prima para la industria, entre otros). Además esta variabilidad en caracteres fenológicos, morfométricos y de rendimiento, implica buscar líneas puras de accesiones de eficiencia productiva de acuerdo a distintas condiciones u objetivos.

TRABAJO FUTURO

El trabajo realizado a la fecha por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias ha permitido “refrescar” las semillas de prácticamente todas las accesiones de quínoa conservadas en sus Bancos. Ahora, se está terminando de documentar la colección y se debe completar la caracterización de los colores de semillas de las quínoas regeneradas.

Para una caracterización más avanzada, se pretende realizar un análisis del contenido de saponinas de cada una de las accesiones que forman la colección, pensando en los posibles problemas de procesamiento de las semillas de quínoa, así como evaluar la respuesta al estrés hídrico a nivel de semillas, plántulas y plantas adultas, pensando en su cultivo en condiciones de baja disponibilidad hídrica actual y futura. Asimismo, su análisis genético permitirá caracterizar la diversidad genética y la estructura de las colecciones presentes. 🌱

Diversidad genética de la quínoa en Chile

Francisco Fuentes

Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
frfuentes@uc.cl

Didier Bazile

Agroecólogo y Geógrafo, Investigador CIRAD, Experto invitado FAO ¹
didier.bazile@fao.org

Enrique Martínez

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, La Serena, Chile.
enrique.a.martinez@ceaza.cl



LA DIVERSIDAD DE LA QUÍNOA EN CHILE HA EVOLUCIONADO EN CONJUNTO CON ANTIGUAS CULTURAS ADAPTÁNDOSE A DIVERSOS TIPOS DE SUELO Y CLIMA. PRESENTAMOS LOS DIFERENTES ECOTIPOS, RELACIONES GENÉTICAS Y MODELOS DE DIVERSIDAD GENÉTICA DE LA QUÍNOA EN NUESTRO PAÍS.

La región Andina es considerada el centro de origen más reciente de la quínoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). Su diversidad genética distingue claramente a escala continental al menos cinco ecotipos principales: *altiplano* (sur de Perú, norte y centro de Bolivia), valles interandinos (Perú, Ecuador y Colombia), *salares* (zona sur altiplano boliviano, norte de Chile y Argentina), *yungas* (zona húmeda en la vertiente oriental de los Andes en Bolivia) y *costa* (sur de Chile y Argentina), los cuales representan a la vez sub-centros de diversidad genética de la quínoa (Bazile *et al.* 2013).

Esta diversidad en Chile ha evolucionado en conjunto con antiguas culturas a lo largo de la región Andina, adaptándose a diversos tipos de suelos y clima, resultado de largos procesos de selección artificial y natural en su distribución de norte a sur en el país, mediante comercialización y migración de antiguas culturas (Fuentes *et al.* 2012); ejemplo de las cuales en el extremo norte del país son: Aymara, Quechua, Atacameña, Coya y Diaguita. En la zona centro, Picunche y Pehuenche, y en el sur, Mapuche y Huilliche.

LOS ECOTIPOS EN CHILE

En Chile existen dos ecotipos de quínoa, estos son ecotipo de salares y ecotipo de la costa

(Fuentes *et al.* 2009). El ecotipo de salares se encuentra distribuido en las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Estos genotipos son tradicionalmente cultivados por comunidades Aymaras en zonas de gran altura (Altiplano), suelos salinos y pluviometría estival. Estos tipos de quínoas se diferencian principalmente por el color de sus semillas, y tamaño de las plantas y panojas. Así, los colores de grano más comunes son rojo (lirio en la lengua aymara), rosado (canche), blanco (janku), amarillo (churi), café (chullpe), rojo oscuro (pandela) y naranja (pera) (Fuentes *et al.* 2012).

Por su parte, en la zona centro y sur de Chile se cultiva la quínoa correspondiente al ecotipo de la costa. Su cultivo es caracterizado por desarrollarse a baja altitud, bajo condiciones de secano entre las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y de Los Lagos.

En la zona centro del país, las semillas y panojas de quínoa son a menudo de color amarillo, y en la zona sur, los granos son de color grisáceo, amarillo y marrón, con color de panoja roja y amarilla.

Estudios recientes han determinado que las diversas prácticas agrícolas en estas zonas han generado un alto nivel de diversidad en la quínoa, encontrándose diferencias en precocidad, niveles de fotoperiodismo y tolerancia al estrés salino, diversidad que ha

sido recientemente correlacionada con estudios genético-moleculares (Fuentes *et al.* 2012).

RELACIONES GENÉTICAS

Diversas investigaciones coinciden en que ambos ecotipos de quínoa tienen su origen en el área sur del altiplano en Bolivia (Bazile *et al.* 2013). Así, estudios usando marcadores genéticos de ADN han demostrado que las poblaciones de quínoa presentes en Chile son más similares a las poblaciones del sur de Bolivia (salares) que a otras quínoas provenientes del resto de la zona Andina. No obstante, existen evidencias moleculares de introducción de genotipos estrechamente emparentados con quínoas de la zona Andina de Perú, en la zona altiplánica de la región de Antofagasta. Pese a ello, la morfología dominante en la mayor parte de las quínoas del extremo norte de Chile corresponde al de quínoa de salares (Fuentes *et al.* 2012).

Es interesante que, usando esta misma aproximación de estudio, se ha descrito que el germoplasma chileno de la costa se presenta mucho más diverso de lo originalmente estimado y reportado hasta la fecha. Asimismo, se ha podido comprobar a nivel molecular indicios de hibridación natural de quínoa con parientes silvestres que coexisten en campos de cultivos (*C. hircinum* Schard.). Esto último

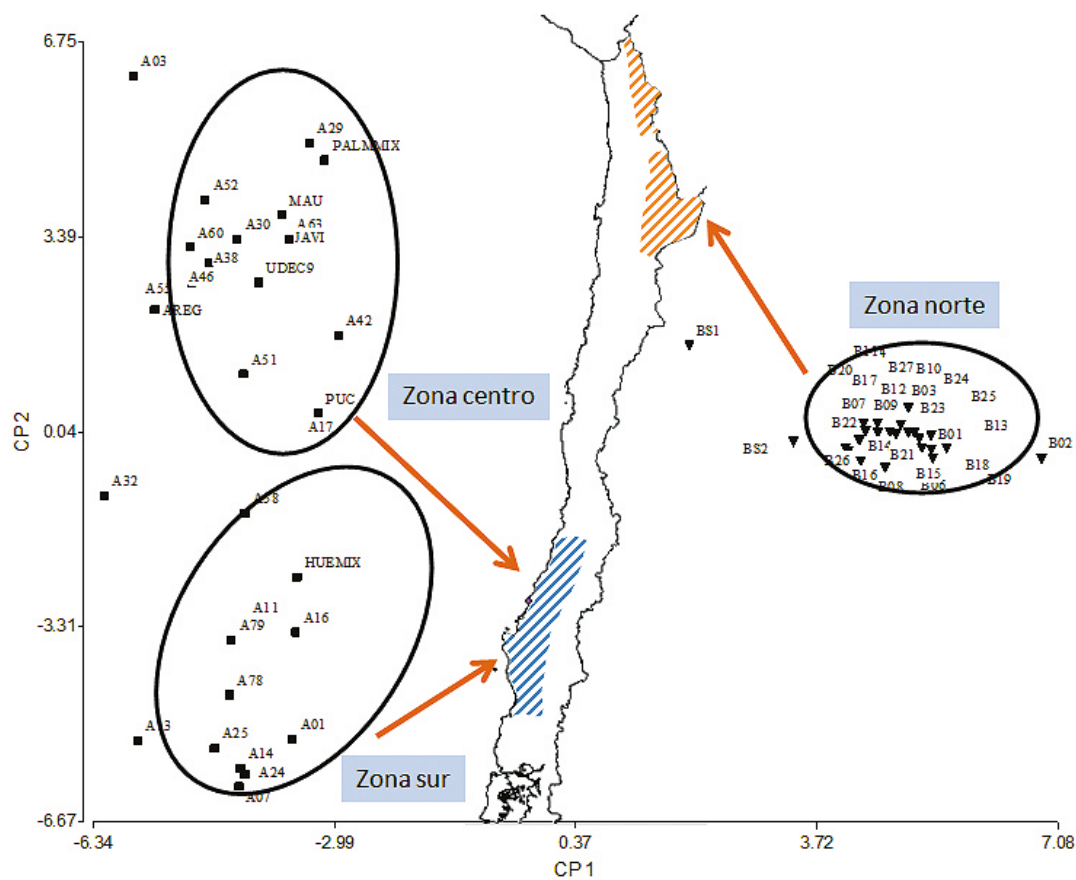


Figura 1. Diversidad genética de quínoa en Chile. Análisis genético de accesiones chilenas de quínoa basado en marcadores moleculares. (Adaptado de Fuentes *et al.* 2009)

podría explicar en alguna medida, la dificultad experimentada por productores de quínoa de la costa en la obtención de nuevos cultivos puros en la zona sur de Chile. Así, quínoas de la costa presentarían un sistema mixto de polinización cruzada y de autopolinización, resultando en un constante intercambio de información genética intra y/o inter-específica (Fuentes *et al.* 2009). Todos estos antecedentes sugieren la existencia de dos sub-reservorios de diversidad genética para el germoplasma de quínoa de la costa, compuestos por

un sub-grupo de la zona centro y otro de la zona sur de Chile (Fuentes *et al.* 2012).

MODELO DE DIVERSIDAD GENÉTICA DE LA QUÍNOA

Estudios recientes han descrito que la diversidad genética de la quínoa a lo largo de su historia podría haber pasado al menos por cuatro eventos de "cuellos de botella" genético, afectando en consecuencia su biodiversidad (Fuentes *et al.* 2012). El primero, y potencialmente más severo de ellos, ocurrió cuando los

dos ancestros diploides de la quínoa (con doble copia de sus genes) sumaron sus genomas para dar origen a nuevas formas tetraploides (cuatro copias de sus genes).

El segundo evento se estima que ocurrió cuando la quínoa fue domesticada a partir de sus ancestros tetraploides silvestres. A partir de esta hipótesis, se sugiere que la quínoa fue domesticada dos veces: una en las alturas de los Andes de Perú y Bolivia; y la segunda en tierras bajas en el sur de Chile (Bazile *et al.* 2013).

El tercero, considerado un cuello



Figura 2. Diversidad de color de semillas y panoja de quínoas (salares) en el altiplano norte de Chile.

de botella de tipo político, pasó hace más de 400 años, durante el período de la conquista española hasta nuestros días, donde el cultivo de la quínoa fue marginado de los procesos productivos debido a su importancia en la sociedad y creencia indígena. Existen abundantes evidencias de que la quínoa en tiempos de la conquista estuvo relegada a tierras marginales (salinas y/o de secano).

Actualmente, un cuarto evento en desarrollo estaría afectando la biodiversidad de la quínoa. Éste se relaciona con la migración de la población rural del Altiplano hacia los grandes centros urbanos, resultando en el abandono progresivo de los campos de cultivo de la quínoa. Este cambio social expone a esta especie a un serio riesgo de erosión genética, particularmente considerando que la diversidad de germoplasma es conservado en su mayoría

en condiciones *in situ*, en zonas donde no ha habido intervención masiva de programas de modernización agrícola (Fuentes *et al.* 2012).

DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

La gran diversidad genética de la quínoa a lo largo del territorio nacional ha sido resultado de dinámicas estrechamente vinculadas entre diferentes ecosistemas y culturas de estas zonas. Esto determina un rol importante de la quínoa chilena en el contexto mundial, donde su amplia distribución geográfica y ecológica permite augurar su potencial como cultivo y alimento casi en todos los tipos de clima.

A pesar de su gran riqueza genética, fenómenos como la progresiva migración de la población rural de Los Andes hacia centros urbanos, podría reper-

cutir negativamente en la posible pérdida de su diversidad genética (erosión genética provocada por erosión cultural). La divulgación de nuevos antecedentes relacionados con los patrones de diversidad genética de la quínoa establece importantes desafíos para científicos, mejoradores y los propios agricultores, tales como el fortalecimiento de iniciativas que tengan por objetivo aumentar la caracterización de estos recursos a fin de promover su uso y conservación, así como de ampliar y mantener colecciones de germoplasma de quínoa y parientes silvestres en condiciones *in situ* y *ex situ*, para que los productores puedan tener acceso a recuperar sus semillas desde bancos de germoplasma, frente a la potencial pérdida de éstas, ya sea por razones medioambientales y/o humanas que afecten su conservación. 🌱

Programa de Mejoramiento Genético de Quínoa, la nueva apuesta de INIA

Christian Alfaro

Ing. Agrónomo M.Sc. Dr., Investigador INIA Rayentué
calfaro@inia.cl

Co- autores:

Andrés Zurita-Silva

Ing. Agrónomo Mg. Sc. Dr. (INIA Intihuasi);

Dalma Castillo

Ing. Agrónomo Dr. (INIA Quilamapu)

Pedro León-Lobos

Biólogo Mg. Sc. Ph.D. Banco Base de Semillas
(INIA Intihuasi)

Ivette Seguel

Bióloga Mg. Sc. Recursos Genéticos (INIA
Carillanca)

Jorge Díaz

Ing. Agrónomo Dr. (INIA Carillanca)

Kurt Ruf

Ing. Agrónomo (INIA Quilamapu)

Manuel Pinto

Ing. Agrónomo (INIA La Platina)

Iván Matus

Ing. Agrónomo M.Sc. Ph.D. (INIA Quilamapu).



EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS HA DISEÑADO Y SE ENCUENTRA IMPLEMENTANDO EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE QUÍNOA EN TODAS LAS ZONAS DEL PAÍS DONDE LA ESPECIE TIENE POTENCIAL PRODUCTIVO. EL OBJETIVO ES POTENCIAR EL USO DE LOS RECURSOS GENÉTICOS LOCALES DE LA QUÍNOA.

Los desafíos que enfrenta la sociedad a raíz del cambio climático, han precisado una serie de estrategias que contribuyan a mitigar sus consecuencias. En la agricultura, por ejemplo, destaca como estrategia la búsqueda de cultivos ancestrales de alto valor nutricional, que resistan condiciones climáticas adversas. Uno de estos cultivos es la quínoa (*Chenopodium quinoa*), especie que además de presentar una alta capacidad para tolerar condiciones de estrés hídrico y salino, se transforma en una especie de interés nacional e internacional debido al alto valor nutricional que posee su grano. Hoy, los principales países productores son Perú y Bolivia, que han desarrollado programas de mejoramiento desde los años '60, existiendo alrededor de 21 variedades protegidas y una superficie mundial que no supera las 100.000 hectáreas.

Los cultivos ancestrales son de especial interés a escala mundial. Esto por sus elevados valores nutricionales, extraordinarias capacidades para enfrentar condiciones edáficas (relativas al suelo) y climáticas desfavorables, además de rendimientos aceptables, incluso en condiciones marginales de riego y fertilización.

Los conceptos de agricultura sustentable y seguridad alimentaria cobran particular significancia en áreas de secano o que dependen de las lluvias para realizar actividades agrícolas. En ellas, los recursos productivos son limitados, como es el caso de algunas explotaciones de subsis-

tencia en zonas andinas y en vastas áreas de otros continentes. Estos cultivos representan un enorme potencial económico no sólo para los mercados locales, sino también para mercados de exportación, pudiendo entregar mejores precios a los productores, e incrementar así sus ingresos.

La quínoa, grano Andino que se cultiva anualmente, cumple estos atributos y ha sido elegida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como uno de los cultivos destinados a otorgar seguridad alimentaria en el siglo XXI (Bazile *et al.*, 2014).

Los programas de mejoramiento en quínoa no fueron iniciados hasta 1960 en la región Andina, y a partir de 1970 en otros países como Chile, que cuenta con una variedad comercial registrada, "Regalona-B", obtenida en Semillas Baer por hibridación entre la línea Latinreco 0034 y el genotipo Baer II (Von Baer *et al.*, 2009).

Aunque es una especie mayoritariamente de auto-polinización (autógama), la quínoa puede presentar polinización cruzada, determinada por auto-incompatibilidad y andro-esterilidad, lo cual sugiere que posee un sistema de polinización versátil. Las evidencias de estudios citológicos han mostrado que la quínoa es una especie alotetraploide ($2n = 4x = 36$, con un número cromosómico básico de $x = 9$), originada a partir de la cruce entre dos especies de *Chenopodium* diploides. Por esto, la quínoa posee principalmente una segregación cromosómica de tipo

diploide (Palomino *et al.*, 2008), pero donde ocurre algo de herencia tetrasómica (Zurita *et al.*, 2014).

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

Considerando los antecedentes mencionados, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ha diseñado y se encuentra implementando el Programa de Mejoramiento Genético de Quínoa, en todas las zonas del país donde la especie tiene potencial productivo. En el programa participan investigadores de INIA de áreas como: fitomejoramiento de cereales, recursos fitogenéticos, biotecnología, fitopatología, fisiología y agronomía; con el propósito de desarrollar genotipos de quínoa de alto rendimiento potencial, adaptados a las diferentes zonas del país, tolerantes a plagas y enfermedades y que cumplan con las exigencias de calidad del mercado nacional e internacional. En paralelo, se ha iniciado el desarrollo de paquetes tecnológicos asociados a



Figura 1. Genotipo de quínoa (*Chenopodium quinoa*) perteneciente a la colección de recursos fitogenéticos INIA.



Figura 2. Genotipo de quínoa en proceso de caracterización.

su cultivo y explotación comercial en cada zona agroecológica, diversificando e incrementando el uso de la quínoa en Chile.

Así se busca potenciar el uso de los recursos genéticos locales de quínoa, incrementando las colecciones existentes de germoplasma *ex situ* y fortaleciendo su conservación en la Red de Bancos de Germoplasma del INIA. Cabe mencionar que el germoplasma es el material base para alimentar el programa de mejoramiento genético.

Actualmente, el Banco Base de Semillas de INIA situado en Vicuña cuenta con una colección de 203 accesiones de quínoa recolectadas a lo largo de Chile. Además, mantiene 192 líneas de este grano andino. Parte de ellos están siendo evaluados en el Centro Regional de

Investigación INIA Intihuasi (en La Serena) y en el Centro Regional INIA Quilamapu (en Chillán), con el fin de identificar progenitores para el desarrollo de nuevas variedades de quínoa.

Por otra parte, el Banco Activo de INIA Carillanca (en Temuco) conserva 125 accesiones de quínoa, que corresponden a materiales provenientes de colectas realizadas en el marco de una colaboración entre la Asociación de Municipalidades de la Pre-Cordillera Andina de La Araucanía y Semillas Baer, accesiones repatriadas desde la Universidad de Buenos Aires (UBA), y quínoas colectadas en el sur de Chile por el INIA.

Asimismo, los materiales seleccionados en el centro-norte del país han sido analizados a

nivel genético, mediante el uso de marcadores moleculares de tipo Microsatélites, para determinar la diversidad existente, el grado de heterocigosidad y estructura genética. Esto en colaboración con investigadores de la Universidad Andrés Bello.

Sin duda, con la utilización de herramientas biotecnológicas, el programa podrá abordar algunas limitaciones derivadas de la naturaleza alotetraploide y las especificidades genéticas de esta especie.

DESAFÍOS PRESENTES Y FUTUROS DEL MEJORAMIENTO EN QUÍNOA

Los objetivos del mejoramiento genético en quínoa han respondido a las demandas de productores, de la industria y del consumidor, incor-

porando las necesidades locales.

En las décadas iniciales del mejoramiento ('60 y '70 del pasado siglo), el foco se basó en el rendimiento, buscando desarrollar variedades de grano grande, libre de saponina, tallo simple o no ramificado-erecto y panoja definida, resistencia a enfermedades, y buena calidad culinaria (revisado por Bonifacio *et al.*, 2014). En tanto, en la década pasada se seleccionó por tolerancia a sequía, calidad industrial y nutritiva y variedades para la cosecha mecanizada. A pesar de estas variaciones en el tiempo, los objetivos primarios continúan siendo: rendimiento, adaptabilidad, tolerancia y/o resistencia a plagas y enfermedades, y calidad para distintos usos.

Uno de los principales problemas asociados a enfermedades en quínoa es el mildiú algodonoso (*Peronospora farinosa* pv. *chenopodii*), factor biótico que causa severas pérdidas de rendimiento en las zonas productoras importantes, y en nuevas áreas de cultivo (por ejemplo en África). Los esfuerzos de mejoramiento en quínoa están concentrados en

incrementar la resistencia durable contra el mildiú y combinar la resistencia con otros caracteres deseables como precocidad, dulzura y tolerancia a la sequía. Fuentes adicionales de resistencia al mildiú podrían estar presentes en especies silvestres de *Chenopodium* que crecen en asociación con la planta cultivada. Existen antecedentes de que especies tales como *C. hircinum*, *C. nuttalliae*, *C. petiolare*, *C. album* y *C. ambrosioides* portarían genes de resistencia al mildiú (Bonifacio *et al.*, 2014).

Otro aspecto de gran interés es el contenido de saponina, que ha representado un problema para la masificación de la quínoa a nivel mundial. Existe consenso que el desarrollo de cultivares dulces con escasa o nula presencia de saponina es uno de los objetivos de mejoramiento más relevantes para el futuro (Bonifacio *et al.*, 2014; Zurita *et al.*, 2014). Sin embargo, la incorporación de este carácter dentro de las variedades de quínoa aún es un desafío para los mejoradores debido a la dificultad de medir en forma precisa los niveles

de saponina previo a la floración y las dificultades en fijar los alelos que controlan este carácter dada su condición de alotetraploidía (Zurita *et al.*, 2014). La incorporación de herramientas de genética molecular podrían contribuir a identificar los alelos responsables de este carácter, y permitir una identificación temprana que ayude a disminuir los materiales de selección.

CONCLUSIÓN

A pesar de estos desafíos, existe un enorme potencial para la introducción de quínoa en países con necesidades de proteína, porque sus semillas poseen elevada cantidad y calidad de proteínas como fuente alimenticia.

El cultivo de quínoa constituye una importante oportunidad para diversificar la agricultura de subsistencia de productores en los Andes sudamericanos y en otras regiones del mundo. Dada su bien documentada tolerancia a varios factores de estrés abiótico, tales como sequía, salinidad, baja fertilidad de suelos y frío, este cultivo ancestral podría hacer mucho menos precario aquellos sistemas agrícolas vulnerables (Fuentes *et al.*, 2009; Zurita *et al.*, 2014).

Fundamental para alcanzar las metas señaladas será el orientar el mejoramiento genético de quínoa hacia el rendimiento potencial, adaptabilidad, incorporación de resistencia y/o tolerancia a plagas y enfermedades, así como el desarrollo de germoplasma para distintos usos específicos. Para ello, las herramientas convencionales y moleculares de mejoramiento deberán ser integradas, para estudiar la rica diversidad genética y el potencial de la quínoa chilena. Los progresos recientes y el interés que ha despertado globalmente el "Año Internacional de la Quínoa" (FAO), auguran un futuro promisorio para esta especie ancestral. 🌱



Figura 3. Planta de quínoa (*Chenopodium quinoa*) en plena floración.


Sequía, frío y salinidad: respuesta de la quínoa al desafío ambiental

Andrés Zurita-Silva

Ing. Agrónomo Mg. Sc. Dr., Investigador INIA Intihuasi
andres.zurita@inia.cl

Karina Ruiz

Investigadora Postdoctoral, Dr.
Laboratorio de Genómica Funcional & Bioinformática,
Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Chile, Santiago
kbruiz@gmail.com



Diversidad panojas de quínoas en ensayos de terreno, Parcela Experimental Pan de Azúcar (PEPA), Coquimbo.

CONSIDERADA COMO UN CULTIVO EXCEPCIONAL POR SU CAPACIDAD DE ADAPTARSE A CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DIVERSAS E, INCLUSO, EXTREMAS; LOS AUTORES DE ESTE ARTÍCULO DAN CONOCER LOS PRINCIPALES ATRIBUTOS Y RESPUESTAS DE ESTA PLANTA FRENTE A LOS ACTUALES DESAFÍOS DE CLIMA Y SUELO.

La quínoa es capaz de crecer en diversas condiciones de clima y suelo, con enorme variabilidad en la disponibilidad de nutrientes, un amplio rango de altitudes (desde el nivel del mar hasta 4.000 metros sobre el nivel de éste), y precipitaciones anuales que varían desde 2.000 mm hasta periodos de sequía prolongados. La plasticidad que permite a este cultivo crecer bajo condiciones ambientales desfavorables representa una oportunidad para la agricultura y un enorme potencial en relación a los desafíos presentes y futuros que imponen las cada vez más extremas oscilaciones climáticas, lo que sumado a los atributos funcionales en la alimentación que presentan sus granos, han contribuido a destacar este cultivo ancestral.

Dicha plasticidad adaptativa frente a los tipos de desafíos

ambientales o estrés abiótico imperante en estos agro-ecosistemas (sequía, salinidad y frío), se debe a la selección de distintos genotipos originados desde los cinco ecotipos existentes, ligados a sub-centros de diversidad descritos previamente (Bertero *et al.* 2004). Su adaptabilidad a ecosistemas naturales y cultivados ha hecho de la quínoa un modelo sobresaliente para aprender tanto de los efectos sobre el crecimiento y desarrollo, como de diversas respuestas a nivel de follaje y sistema radicular. Muchos de los atributos de este cultivo han sido revisados y se encuentran disponibles gratuitamente en la publicación "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013", publicación FAO/CIRAD en el marco del Año Internacional de la Quinua (BAZILE *et al.* 2014; <http://www.fao.org/3/a-i4042s/index.html>).

RESPUESTAS DE LA QUÍNOA A LA SEQUÍA

En general, las plantas presentan diferentes estrategias de adaptación como respuesta al déficit hídrico, a nivel fisiológico y morfológico, las cuales se podrían dividir en dos categorías principales: evitar y tolerar el estrés.

Frente a la sequía, las plantas cambian o modifican sus procesos fisiológicos fundamentales, tales como la fotosíntesis, la respiración, el ahorro de agua interno, y el metabolismo de hormonas y de compuestos antioxidantes. Dichas respuestas implican, además, cambios en el crecimiento de los brotes y las raíces, y en algunos casos una fuerte modificación del ciclo de vida, la arquitectura y la productividad de las plantas (Zurita-Silva *et al.* 2014).

Los objetivos de los meca-

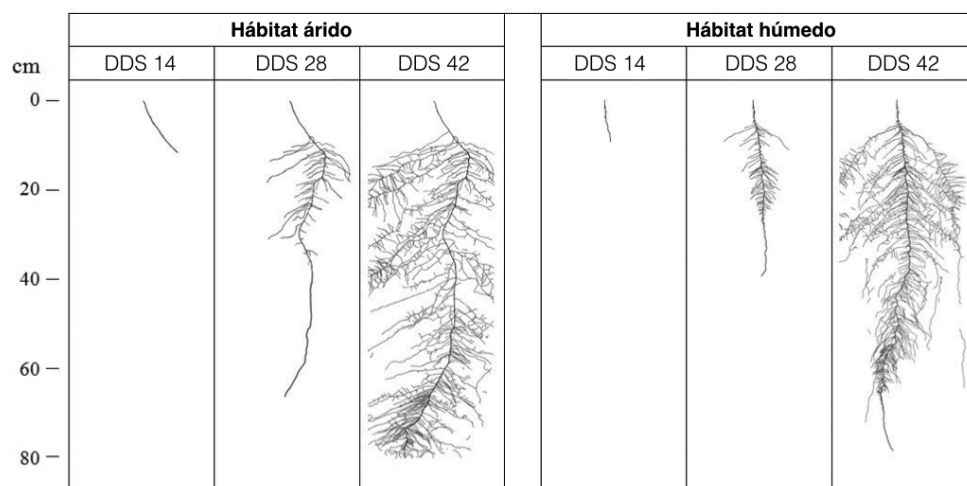


Figura 1. Curso temporal del crecimiento de las raíces en dos ecotipos de quínoa de hábitats contrastantes: de los salares (hábitat árido) y del nivel del mar (hábitat húmedo), a los 14, 28 y 42 días después de la siembra (DDS; adaptado de Zurita-Silva *et al.* 2014).

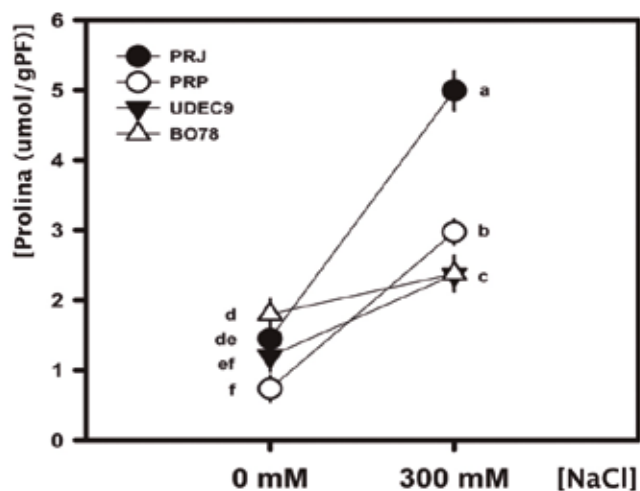


Figura 2. Concentración de Prolina (mmol/g PF) en plántulas de cuatro genotipos de quínoa (7 días después de sembrados) crecidos en medio de cultivo MS suplementado con 0 o 300 mM NaCl. Valores promedio de 3 experimentos (+2S.E.), y letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Adaptado de Ruiz-Carrasco *et al.* 2011.

nismos al evitar el estrés son equilibrar la absorción y la pérdida de agua. La absorción de agua se ve mejorada por la acumulación de sustancias que ayudan a reducir el potencial hídrico de los tejidos, y por el aumento de crecimiento de las raíces, mientras que la pérdida de agua por evaporación es limitada por el cierre de los estomas (poros de las hojas), lo que disminuye el intercambio gaseoso, restringe el crecimiento de brotes y acelera la senescencia foliar, disminuyendo la productividad de la planta.

Por otra parte, los mecanismos de tolerancia al estrés tienen por objeto proteger contra el daño a nivel interno (celular), cuando este factor se vuelve más severo y los mecanismos para evitarlo ya no son suficientes. Este segundo tipo de mecanismos incluye disminuir la toxicidad de las especies reactivas de oxígeno (ROS), compuestos que se generan por diversos tipos de estrés, la acumulación de proteínas protectoras tipo LEA (Late Embryogenesis Abundant), y la acumulación de solutos, como la prolina, que actúa como osmolito compatible y mantiene el volumen celular. Las respuestas de evitar y tolerar el estrés son reguladas mayoritariamente por la hormona ABA (ácido abscísico).

La quínoa posee una capacidad excepcional para enfrentar la escasez de agua sobre la base de su bajo requerimiento de agua intrínseco, y la característica de recuperar rápidamente el nivel fotosintético y área foliar específica después de un período de sequía. Como estrategia para evitar la sequía, reduce el área foliar por desprendimiento de hojas, y a nivel celular presenta paredes pequeñas y gruesas que preservan la turgencia, incluso después de severas pérdidas de agua.

Además, ha desarrollado características morfológicas y anatómicas en respuesta a la sequía, como la presencia de vesículas que contienen oxalato de calcio en tallos y hojas, epidermis cuticulares gruesas (en hojas) y estomas hundidos. Se ha demostrado que posee una alta eficiencia fotosintética, que se mantiene a pesar del déficit hídrico. La tolerancia de la quínoa ha sido atribuida además a su sistema radicular ramificado y profundo que penetra hasta 1,5 metros en suelos arenosos (Álvarez-Flores, 2012).

Asimismo, la quínoa puede escapar de la sequía mediante precocidad o acortando el ciclo del cultivo, lo cual es muy importante en áreas donde el riesgo de

sequía aumenta hacia el final de la temporada de crecimiento (sequía terminal). Esto hace que sea muy apta para el cultivo en regiones áridas y semiáridas. Por ejemplo se ha cultivado con éxito en India, Marruecos, Egipto y Mali, en condiciones de riego muy limitado o bien dependiente de precipitaciones cada vez más escasas.

ADAPTACIONES DE LAS RAÍCES FRENTE A SEQUÍA

Las raíces (sistema radicular) son un órgano complejo de la planta con funciones fundamentales: anclaje y exploración del suelo, absorción y transporte de agua y nutrientes, síntesis y secreción de metabolitos. Cuando la absorción de agua o el transporte de agua por los tejidos conductores del xilema se hacen insuficientes para satisfacer la evapotranspiración, como ocurre en casos de déficit hídrico, las plantas ven afectado tanto su crecimiento (disminuye acumulación de materia seca), como su fenología (se acelera ciclo de vida).

En cuanto al sistema radicular de la quínoa, se ha demostrado que la distribución de la biomasa acumulada entre raíces y brotes no se ve mayoritariamente alterada por el déficit de agua, lo

cual sugiere la intervención de otros mecanismos adaptativos en respuesta a la sequía (Zurita-Silva *et al.* 2014).

Bajo déficit hídrico, las raíces de dos ecotipos contrastantes, de salares y del nivel del mar, presentaron una forma tipo "espinas de pescado", que implicó una mayor reducción en el crecimiento de raíces laterales que en raíces primarias (Álvarez-Flores 2012). De hecho, en caso de sequía temprana, el alargamiento de la raíz primaria se considera beneficioso para la adquisición del agua más profunda y segura, mientras que una ramificación radicular densa podría conducir al rápido agotamiento del agua presente en capas más superficiales.

Las principales diferencias entre los ecotipos estudiados fueron que el sistema radicular del ecotipo de salares presenta un alargamiento más rápido y una colonización más densa en profundidad (Álvarez-Flores 2012). Asimismo, el déficit hídrico reduce la longitud total de los sistemas radicales, con una disminución menor en el ecotipo de los salares -38% contra -57% en el ecotipo del nivel del mar. Tal disminución es resultado de un número reducido de segmentos de raíces, con una diferencia entre ecotipos: el número de segmentos se redujo sólo un 8% en la quínoa de los salares versus 23% en la quínoa del nivel del mar. Esto podría representar una diferencia ecotípica significativa en las raíces en cuanto a la absorción de agua y la sensibilidad a la sequía (Álvarez-Flores 2012).

Cabe destacar que el déficit hídrico estimula la elongación de la raíz primaria en ambos ecotipos en comparación con control no-limitado en riego. En el ecotipo de los salares las raíces primarias crecieron hasta 50 cm durante las primeras cuatro semanas

bajo condiciones no-limitantes, mientras que alcanzaron los 75 cm bajo déficit hídrico. En cambio, el ecotipo del nivel del mar presentó valores de 35 y 40 cm, respectivamente, en las mismas condiciones (Figura 1). El rápido alargamiento de la raíz primaria permitió al ecotipo de los salares producir raíces laterales distribuidas de manera uniforme a través de todo el perfil del suelo. En contraste, el ecotipo del nivel del mar concentró sus raíces laterales en las capas de suelo de entre 5 y 50 cm y mostró una escasa densidad de raíces en las capas más profundas del suelo (Álvarez-Flores 2012).

RESPUESTAS AL FRÍO

Las heladas son uno de los principales factores que limitan la agricultura en las regiones Andinas de altura y en el sur de Chile. Por lo general, la quínoa es menos afectada que la mayoría de los cultivos por las heladas, pero sus mecanismos específicos de resistencia al frío son menos conocidos. No obstante, algunos parámetros que afectan el rendimiento y la sobrevivencia han sido fijados, como el contenido de azúcares solubles, proteínas y prolina, con el fin de desarrollar criterios para la selección de genotipos y generar cultivares con mayor resistencia al frío.

Se ha determinado que plántulas de dos hojas verdaderas provenientes de cultivares del altiplano peruano (3.800 msnm), toleran temperaturas de -8°C por 4 horas, mientras que otro cultivar de los valles Andinos toleran la misma temperatura durante 2 horas solamente. A -4°C, la tasa de mortalidad de plántulas se incrementa desde 25% con humedad relativa alta, hasta 56% con humedad relativa baja (Jacobsen *et al.* 2005).

Otro aspecto interesante es que el efecto sobre el rendimiento

varía dependiendo del estado de desarrollo de la planta: con temperaturas de -4°C aplicadas en dos hojas verdaderas, el rendimiento de semillas se reduce en un 9% comparado al control en plantas no expuestas a frío. En cambio, el mismo tratamiento aplicado en los estados de 12-hojas verdaderas y floración, reduce los rendimientos en 51 y 66%, respectivamente, indicando que el frío durante 2 h o más durante anthesis causa un daño significativo.

En general, un nivel adicional de azúcares solubles implica una mayor tolerancia al frío, resultando en mayores rendimientos. Este mismo grupo de investigadores determinó más tarde que la quínoa presenta capacidad de sobre-enfriamiento ("supercooling"), mecanismo que previene el daño inmediato por temperaturas congelantes, permitiendo evitar la formación de hielo mediante la acumulación de azúcares solubles como glucosa y la citada prolina, los cuales provocan una disminución en el punto de congelamiento, contribuyendo al sobre-enfriamiento y a disminuir la temperatura letal de la quínoa.

RESPUESTAS DE LA QUÍNOA AL ESTRÉS SALINO

Dado el impacto de la salinidad en la agricultura y su asociación al manejo del riego, la tolerancia a la sal es un carácter agrónomicamente muy importante.

La quínoa ha demostrado ser tolerante a salinidad del suelo, y considerando su diversidad por los ecotipos adaptados al valle, altiplano, salares, nivel del mar y los trópicos, sugiere variabilidad genética de la tolerancia a este factor. Existen ejemplos donde se ha estudiado y comparado diferentes genotipos de quínoa por su respuesta a condiciones de salinidad, demostrando que éste es



Figura 3. Quínoa creciendo en suelo salino (general).

un rasgo complejo y multigénico. La quínoa ha mostrado una elevada tolerancia a condiciones de salinidad moderada a alta, siendo capaz de formar semillas incluso en solución de Cloruro de Sodio con conductividad eléctrica (EC) de 42,2dS/m (similar al agua de mar), demostrando su naturaleza halófila, o sea de plantas que crecen de manera natural en áreas afectadas por salinidad en raíces y/o brotes. Los mecanismos de tolerancia a la salinidad presentes en esta especie involucran complejas respuestas a nivel morfológico, fisiológico y molecular, ya que deben enfrentar los dos principales efectos provocados por la salinidad: el efecto osmótico o sequía fisiológica, y el efecto iónico o acumulación de sales en los tejidos.

Dentro de los mecanismos orientados a contrarrestar el componente osmótico de la salinidad, se encuentran la protección del embrión de las semillas, gracias a proteínas conocidas como dehidrinas, la neutralización de las especies reactivas de oxígeno (ROS) por azúcares solubles (solutos compatibles) como manitol, mio-inositol, y otros compuestos orgánicos como prolina (mecanismo similar al estrés por sequía y frío).

Recientemente se ha determinado que la tolerancia a la salinidad se asocia a la acumulación de prolina en genotipos más tolerantes (Figura 2; Ruiz-Carrasco *et al.* 2011).

También se altera la regulación del metabolismo de poliaminas y glicina-betaína, aumentando su acumulación y actividad protectora (tipo chaperona); por otra parte la regulación de la conductancia estomática y la reducción de número de estomas ayuda a mejorar la economía hídrica de la planta, y la presencia de vesículas en las hojas que ayudan a dismi-

nuir la pérdida de agua, como una epidermis secundaria.

En tanto, para contrarrestar el componente iónico de la salinidad, la quínoa posee un sofisticado sistema de exclusión de la sal, gracias a transportadores de Sodio y Potasio localizados en las membranas de células y organelos, permitiendo que las zonas de crecimiento activo (meristemas) acumulen menores concentraciones de sal que el resto de los tejidos, acumulando el exceso de sodio en vacuolas celulares (compartimentalización), y excluyendo el exceso de sal desde las raíces o regulando su transporte hacia los brotes nuevos, incrementando la absorción de Potasio y manteniendo una relación Potasio/Sodio en niveles aceptables en presencia de salinidad en el medio externo (Ruiz-Carrasco *et al.* 2011).

Finalmente, pero no menos importante, existen múltiples evidencias que indican que las propiedades nutricionales de la quínoa no se ven afectadas en condiciones de alta salinidad y que, en algunos casos, incluso mejora la acumulación de compuestos con propiedades funcionales, tales como fibra, compuestos fenólicos y tocoferol (Biondi *et al.* 2014).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La quínoa soporta condiciones climáticas extremas en varias regiones de su área de distribución, especialmente en el altiplano sur de Bolivia, el norte de Chile y noroeste de Argentina. En el sur de Bolivia, el cultivo enfrenta sequías frecuentes debido a la precipitación baja e irregular y la alta demanda evaporativa, además de una alta probabilidad de heladas y radiación solar extrema debido a la altitud elevada.

Las respuestas y mecanismos para hacer frente a la sequía se

incluyen en dos grandes estrategias: la evitación del estrés y la tolerancia del estrés. Sin embargo, esta especie ha mostrado una capacidad excepcional para equilibrar absorción y pérdida de agua (y así evitar el déficit hídrico)

La quínoa mejora la absorción de agua a través de la acumulación de solutos como prolina para disminuir el potencial hídrico del tejido y la modificación de la arquitectura radicular, así como un ajustado control estomático, restringiendo el crecimiento de brotes y acelerando la senescencia foliar para limitar su pérdida de agua por evaporación. Asimismo, presenta mecanismos que le permiten soportar efectos osmóticos (sequía fisiológica) e iónicos (acumulación de sales), representando así un cultivo con un extraordinario potencial para climas adversos, manejos agrícolas con baja intervención y terrenos marginales.

Con la incorporación de nuevas tecnologías y estrategias, como la integración de estudios fisiológicos, agronómicos, y genómicos, todo el potencial de la variabilidad genética de la quínoa se podrá utilizar para generar nuevas variedades más tolerantes a condiciones ambientales desfavorables (Zurita-Silva *et al.* 2014); ésta también representa una fuente novedosa para el descubrimiento de genes que podrían servir en otros cultivos de importancia agrícola.

Todas estas características hacen de la quínoa un modelo de cultivo excepcional para la investigación de los mecanismos fisiológicos, morfológicos, celulares y moleculares en la base de la tolerancia al estrés abiótico (sequía, frío, salinidad) en las plantas en su conjunto, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a enfrentar las condiciones adversas que imponen las oscilaciones generadas por los cambios climáticos. 🌱

Avances en el manejo agronómico del cultivo de quínoa en Chile

Iván Matus

Ing. Agrónomo, Ph.D., Investigador INIA Quilamapu,
imatus@inia.cl

Kurt Ruf

Ing. Agrónomo, Investigador INIA Quilamapu,
kurt.ruf@inia.cl

Manuel Pinto

Ing. Agrónomo, Dr., Investigador INIA La Platina,
mpinto@inia.cl



Cultivo de quínoa, provincia de
Ñuble, región del Biobío.

LOS CENTROS REGIONALES INIA QUILAMAPU E INIA RAYENTUÉ ESTÁN DESARROLLANDO UN PROYECTO QUE BUSCA GENERAR NUEVOS CONOCIMIENTOS Y TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE QUÍNOA EN LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE. A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN ALGUNOS RESULTADOS DEL PRIMER AÑO DE EVALUACIÓN DEL PROGRAMA.

Los Centros Regionales de Investigación INIA Quilamapu (en la región del Biobío) e INIA Rayentué (región de O'Higgins) están desarrollando un proyecto que se inserta en el Centro de Excelencia en Alimentos Wageningen UR Chile, con apoyo de la empresa Nestlé¹. La iniciativa tiene por objeto desarrollar nuevos conocimientos y tecnologías enfocados a la producción de quínoa en la zona centro y centro-sur de Chile, por un período de 3 años, cuya primera etapa denominada "de instalación", considera el estudio del manejo agronómico de la quínoa.

Cabe recalcar que hoy se cuenta con muy poca tecnología y bajos rendimientos para este cultivo, fluctuando entre 180 y 1.000 k/ha. Sin embargo, su potencial asciende a casi 5 a 6 toneladas por hectárea.

En paralelo, se busca la adaptación de formulaciones que incorporen quínoa en productos ya existentes, así como en nuevos productos orientados principalmente a alimentos infantiles y galletas. Además, se considera el desarrollo de ingredientes derivados de quínoa y poner a disposición de los productores un abastecimiento de semillas adecuado y confiable, para lograr una red de abastecimiento completamente integrada con la industria de la quínoa en Chile.

ENSAYOS

En estudios preliminares sobre el manejo agronómico se utilizaron 2 genotipos de quínoa, conocidos como plantas verdes y plantas moradas, colectados en la región de O'Higgins, cuyos granos contienen saponinas, por lo que se clasifican como "amargas". Además se están probando 3 variedades: Atlas, Río Bamba y Pasto, las cuales fueron mejoradas por la Universidad de Wageningen, y contienen bajos niveles de saponinas, por lo que se les denomina como cultivares "dulces".

Durante la temporada 2012-2013 se establecieron ensayos de época de siembra, dosis de fertilización nitrogenada y dosis de semilla, esta última con diferentes distancias entre hileras.

Las localidades de ubicación de estos ensayos fueron el Campo Experimental Santa Rosa de INIA (en condiciones de riego), situado en Chillán, región del Biobío, y el Centro Experimental INIA Hidango (en condiciones de secano), en Litueche, región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Cabe destacar que se apreció una marcada diferencia de rendimiento entre ambos ensayos (lográndose muy buena respuesta del cultivo al riego).

A continuación se presentan resultados del primer año de evaluación.

ÉPOCAS DE SIEMBRA

Conocer la época adecuada de siembra, según la localidad y variedad a utilizar es fundamental para tener éxito en el cultivo. Lo anterior, tanto desde la perspectiva del rendimiento, de la calidad y del momento de cosecha.

En el caso de la quínoa existe muy poca información publicada que indique cuál es la mejor fecha de siembra en aquellas zonas donde actualmente se cultiva. Lo mismo para aquellas zonas que pueden tener un potencial de producción para este cultivo.

En las Figuras 1 y 2 se observa el comportamiento de los genotipos bajo diferentes fechas de siembra. En la localidad de Hidango sólo se efectuaron dos fechas de siembra correspondientes al 11 de septiembre y 9 de octubre. Se aprecia claramente que los mejores rendimientos se obtuvieron en la fecha temprana; donde el rendimiento más alto lo alcanzó el genotipo local "plantas verdes", seguida por la variedad Riobamba. Este mismo comportamiento se observó en la fecha tardía.

Bajo condiciones de riego en la localidad de Santa Rosa, Chillán, se establecieron los mismos genotipos, pero en 4 fechas distintas. Se observa en la Figura 2 que la fecha en la cual se alcanzaron los mejores rendimientos correspondió al 13 de agosto, los que fueron decli-

1 El proyecto "Adaptación de la quínoa para uso en alimentos infantiles y galletas" iniciado en 2012, cuenta con el financiamiento de Innova Chile-Corfo, y se inserta en el Centro de Excelencia en Alimentos de Wageningen Chile.

nando hasta la fecha de noviembre. Septiembre se presenta como la fecha límite para obtener rendimientos interesantes. Se destaca en esta localidad el comportamiento del genotipo “plantas verdes” y la variedad Riobamba.

DOSIS DE NITRÓGENO

El nitrógeno es considerado un elemento fundamental para aumentar la productividad en la mayoría de los cultivos. En el caso de la quínoa esta información es muy escasa, por lo que se establecieron ensayos de respuesta a este elemento, con el propósito de determinar cuál puede ser una dosis adecuada desde el punto de vista técnico (próximamente se realizarán también análisis económicos). En la localidad de Hidango este ensayo se estableció el 11 de septiembre y en Santa Rosa se sembró el 18 de octubre.

En las Figuras 3 y 4 se muestra la respuesta del genotipo “plantas verdes” y la variedad Riobamba a diferentes dosis de nitrógeno. El nitrógeno fue parcializado en dos oportunidades: 50% cuando el cultivo tenía 4 hojas verdaderas y 50% cuando el cultivo estaba en etapa de inicio de ramificación. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea. En la localidad de secano, Hidango, no se observó una clara respuesta a las dosis crecientes de nitrógeno. Sí se observó que el mejor rendimiento se obtuvo con la variedad Riobamba, alcanzando un máximo de rendimiento con las dosis de nitrógeno 150 k/ha. En el caso de la localidad de Santa Rosa (Figura 4), la mejor respuesta también se obtuvo con la dosis de 150 k/ha de nitrógeno y con la variedad Riobamba. Para ambas localidades se debe realizar un análisis de costos para determinar que tan rentable resulta usar esta dosis de nitrógeno, considerando que con dosis menores de nitrógeno la baja en rendimiento no es significativa.

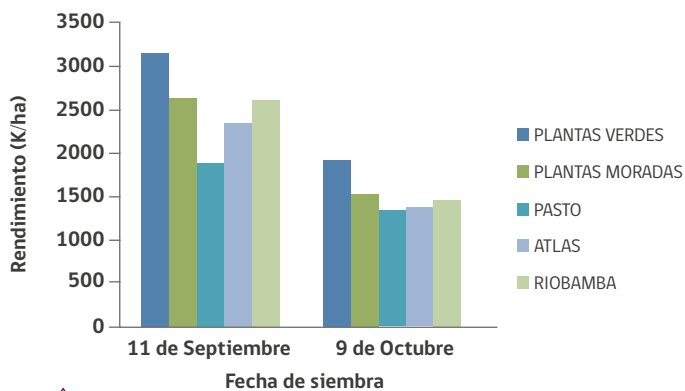


Figura 1. Rendimiento (K/ha) de diferentes genotipos de quínoa en diferentes fechas de siembra. Hidango 2012-2013

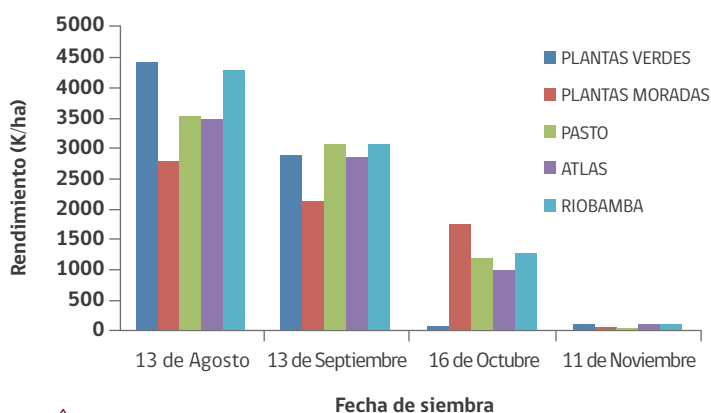


Figura 2. Rendimiento (K/ha) de diferentes genotipos de quínoa en diferentes fechas de siembra. Santa Rosa 2012-2013

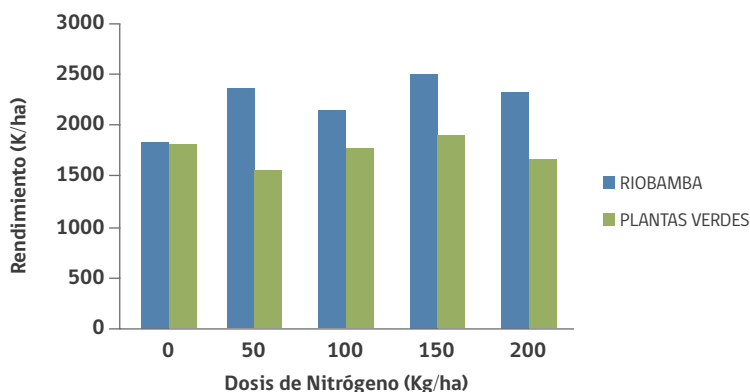


Figura 3. Rendimiento (K/ha) de dos genotipos de quínoa con diferentes dosis de nitrógeno. Hidango 2012-2013

DISTANCIA ENTRE HILERAS Y DOSIS DE SEMILLA

No existe claridad sobre la dosis de siembra a utilizar y de qué forma se puede o debe sembrar este cultivo. Por esto se estableció un ensayo en el que se evaluaron 4 dosis de siembra y 4 distancias entre hileras.

En la Figura 5 se presentan los resultados para la localidad de Hidango. Este ensayo se estableció el 11 de septiembre, pudiendo apreciarse que no hay una clara respuesta de dosis y distancia. Los rendimientos variaron aproximadamente entre 1.600 y 2.300 k/ha. Considerando los promedios obtenidos, la distancia de siembra más adecuada sería entre 20 y 40 cm, y la mejor dosis de siembra de 8 k/ha. Para Santa Rosa, en tanto, la dosis más adecuada sería de 10 k/ha y la distancia entre 20 y 40 cm (Figura 6). En Santa Rosa el ensayo se sembró el 18 de octubre.

CONCLUSIONES

Este es sólo el primer año de proyecto, por lo que se espera reunir una mayor cantidad de información, para poder presentar una clara recomendación para este cultivo.

Una de las grandes limitantes es el control de malezas. En la actualidad no existen herbicidas que se puedan utilizar en el cultivo de la quínoa, por lo que su control se debe realizar de forma manual. Es posible realizar un primer control entre hileras, de forma mecánica, por lo que sería recomendable realizar la siembra con una distancia entre hileras de 40 cm.

De acuerdo con los datos presentados en este primer año de trabajo, es posible indicar que este cultivo presenta un interesante nivel de producción, que alcanzó un rendimiento máximo de más de 4.000 kilos/ha. 🌱

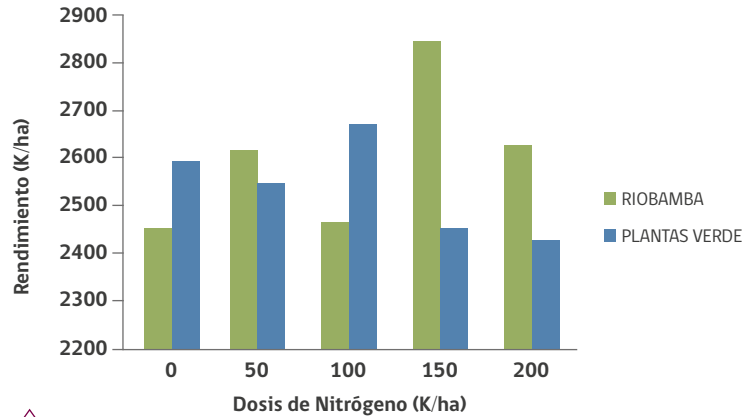


Figura 4. Rendimiento (K/ha) de dos genotipos de quínoa con diferentes dosis de nitrógeno. Santa Rosa 2012-2013

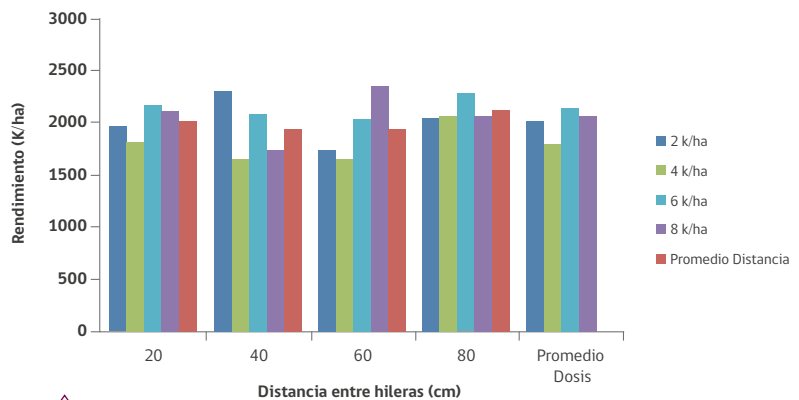


Figura 5. Rendimiento (K/ha) de la variedad de quínoa Riobamba sembrada a diferentes distancias entre hileras (cm) y dosis de semilla (K/ha). Hidango 2012-2013

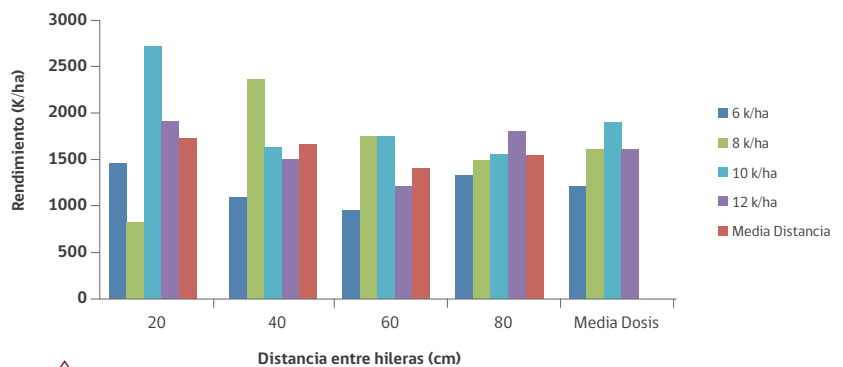


Figura 6. Rendimiento (K/ha) de la variedad de quínoa Riobamba sembrada a diferentes distancias entre hileras (cm) y dosis de semilla (K/ha). Hidango 2012-2013

Procesamiento y manejo de postcosecha del grano de quínoa

Enrique Veas
agrovision@gmail.com

Hernán Cortes
h.cortes@agrodynamis.cl

Pablo Jara
Asesor Postcosecha de Quínoa,
pablojaravaldivia@yahoo.es



Trilla mecanizada
automotriz de quínoa.

LOS MÉTODOS DE COSECHA, POSTCOSECHA Y LA CALIDAD DEL GRANO DE LA QUÍNOA EN CHILE DIFIEREN DE ACUERDO A LA ZONA PRODUCTORA Y A LA OPORTUNIDAD EN QUE SE REALIZA LA COSECHA Y EL PROCESO DE ESCARIFICADO. EN ESTE ARTÍCULO SE PRESENTA UNA COMPLETA RADIOGRAFÍA DE ESTOS PROCESOS A LO LARGO DEL PAÍS.

Los cultivos andinos que históricamente formaron parte de la dieta de los pueblos originarios, son considerados hoy en día como alimentos de calidad, altamente nutritivos y sanos. Los agudos problemas de mala alimentación hacen necesario encontrar alternativas de cultivo que compartan estas características, y que se incluyan en las dietas de poblaciones que raramente consumen proteínas de origen animal, para así contribuir a una alimentación equilibrada y de alta calidad. Esta es una de las razones que ha determinado un crecimiento en la demanda de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), grano andino de gran importancia que se caracteriza por su alto valor nutritivo, gran versatilidad de usos, adaptabilidad a diferentes condiciones agroclimáticas y tolerancia a factores abióticos adversos (FAO, 2001).

La calidad del grano está directamente relacionada con la oportunidad en que se realizará la

cosecha y el proceso de escarificado, ya que es uno de los cultivos considerados como delicados en cuanto a manejo y cuidados en la cosecha y postcosecha. La cosecha de quínoa debe realizarse con la debida oportunidad para evitar no sólo las pérdidas por efectos adversos de factores abióticos y bióticos sino, el deterioro de la calidad del grano. Si a la madurez del cultivo hay un período de humedad ambiental alta (superior al 70%), se produce la germinación de los granos en la panoja, con la consiguiente pérdida de la cosecha o, por lo menos, se produce una oxidación o cambio de color de los granos, con disminución de calidad.

COSECHA DE QUÍNOA

La forma tradicional de cosecha de quínoa es manual, la cual se efectúa cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica (momento en que poseen el máximo de materia seca), entre los 160 y 180 días después de

la siembra, con un contenido de humedad del grano de 14 a 16%. Otros indicadores de cosecha prácticos utilizados en campo son de carácter visual y tacto, como por ejemplo panojas crujientes, caída de hojas y semillas de la misma dureza de las semillas sembradas. Las labores de cosecha deben de realizarse durante la mañana o al final de la tarde para evitar el desprendimiento de los granos por efectos mecánicos del corte y presencia de vientos.

La cosecha manual consta de las siguientes etapas: siega o corte de la planta, esta labor se trata de realizar entre 5 a 6 cm de la base del suelo para disminuir la contaminación por piedras y otros.

Emparvado tiene relación con la formación de montículos de panojas para un buen secado antes de la trilla, la que es muy similar a la realizada para el trigo con el fin de desprender las semillas de la panoja al someterlas a golpes. En todo este proceso se debe tener especial precaución de no contaminar las



Parva de quínoa de cosecha manual.

panojas con piedras o residuos que puedan ensuciar las semillas, ya que esto puede ser desastroso para su posterior comercialización.

Un detalle importante en este caso, es que las panojas a trillar deben estar completamente secas, para evitar atascamientos en los compartimentos de trilla (cribas) y de salida de desperdicios. Cuando las panojas están húmedas o verdes se obtiene grano sucio, o las pérdidas del mismo son excesivas durante el proceso de trilla.

El aventado consiste en la separación de la semilla de fragmentos como hojas, pedicelo, restos secos de flores y pequeñas ramas. El secado es la exposición de semillas, normalmente al sol, hasta alcanzar un 10% de humedad óptima para el envasado.

La quínoa también puede ser cosechada con maquinarias. Diversas experiencias realizadas en la región de Coquimbo han demostrado que la utilización de cosechadoras mecánicas puede ser bastante ventajosa en grandes superficies de quínoa. Para ello, es necesario determinar con exactitud el nivel de maduración de la panoja (en plantas muy secas se produce caída del grano en el momento del corte). Cuando las panojas están húmedas o verdes se puede atascar la máquina y no se genera una completa limpieza del grano, factor muy importante a considerar. Otra recomendación al planificar una cosecha mecanizada, es que se deben utilizar densidades de siembra altas (20 a 25 kilos de semilla por hectárea). Con esto se reduce el tamaño de las plantas (60 a 80 cm) y se homogeniza el cultivo, lo que permite que las plantas puedan ser cortadas y trilladas por la máquina y no volteadas (si son muy grandes) o pisoteadas (si son pequeñas). La plasticidad de la planta de quínoa y su tamaño regulan el grosor del tallo. Si éstas sobrepasan 1 metro

de altura, el tallo presenta un grosor inadecuado y excesivo, lo que origina quiebres del mismo y no cortes. La máquina entonces bota las panojas generando pérdidas irreparables.

El índice de cosecha para la quínoa se determina por el contenido de humedad del grano el cual debe variar de 14 a 15%. En forma práctica, en esta etapa ocurre un amarillamiento completo de la planta y una gran defoliación. Además, al presionar el grano con las uñas, éste presenta resistencia a la penetración. Para cosecha mecanizada se debe considerar que los tallos se quiebren con facilidad.

Un sistema mejorado de cosecha de quínoa consiste en la utilización de trilladoras estacionarias, aunque la siega y transporte de las gavillas (atados de plantas puestas a secar) se hace manualmente. Varios modelos de trilladoras de cereales han sido adaptados para la trilla de quínoa, todos con aceptable eficiencia y rendimiento. Las principales adaptaciones a realizarse son: disminución del flujo de aire en el ventilador, instalación de cribas finas en el dispositivo de salida de granos (para evitar pérdida de grano), disminución de los dientes o ganchos trituradores en el cilindro, y aumento de la velocidad. Entre las ventajas del uso de estas trilladoras se pueden mencionar: el fácil manejo, la facilidad de transporte y pueden ser adquiridas a precios relativamente razonables por agricultores, asociaciones o cooperativas.

POSTCOSECHA DE QUÍNOA

Las actividades de postcosecha tienen como principal función permitir la obtención de un producto en óptimas condiciones de calidad y condición para consumo.

Las operaciones de postco-

secha son actividades posteriores a la producción agrícola primaria y son consideradas secundarias, además de formar parte del encañamiento productivo del grano.

Se estima que la quínoa puede perder un 30% de su valor por una inadecuada postcosecha, principalmente en la eliminación de sustancias no aptas para el consumo. Desde los inicios del consumo de la quínoa, el sabor amargo del grano ha sido un problema, ya que ha generado rechazo por parte del consumidor; éste se debe a la presencia del alcaloide saponina que cubre a las semillas, que además del intenso sabor amargo, es ligeramente tóxico, por lo que debe ser eliminado antes del consumo del grano.

El proceso de desaponificación desde el grano ha derivado en una mayor aceptación por parte de los consumidores, y a la vez un mayor interés por parte de la agroindustria por crear otros productos con mayor valor agregado como harinas, hojuelas y barras de cereales, entre otras.

La forma tradicional de eliminación de este alcaloide ha sido el lavado con cambios sucesivos del agua y frotando los granos de la semilla reiteradas veces, hasta que el agua no tenga presencia de espuma (ocho lavados como promedio). Esta serie de lavados, además de ser un trabajo lento, demanda un proceso de secado adicional (cuando no se usa en forma inmediata), para evitar la proliferación de hongos, bacterias y otros microorganismos en el grano húmedo, y como resultado final, afectar la calidad del grano. Además la utilización de agua puede incidir en la pregerminación del grano y su desnaturalización. En la zona norte de Chile, además del lavado se acostumbra a realizar un leve tostado para extraer más rápido el alcaloide.

La opción agroindustrial de



Cascarilla de quínoa con saponina producto del proceso de escarificado del grano.

escarificación se está utilizando en los centros tradicionales de producción. Este proceso consta de varias vías: húmeda, seca, seca-húmeda, tostada-húmeda y tostada-seca-húmeda. El método mecánico por lavado consiste en someter al grano de quínoa a un proceso de remojo y turbulencia en agua circulante o fija en un recipiente de lavado a temperatura ambiente. En este método la saponina es eliminada en el agua de lavado, ya que la función del agua es disolver los cristales de saponina. El desaponificado vía húmeda puede obtener granos con un bajo contenido de saponina, pero puede presentar ciertos inconvenientes como es el excesivo gasto de agua, necesidad de un secado eficiente para evitar que el grano germine por la humedad absorbida, alto costo al utilizar secadoras y, como problema principal, la posible desnaturalización de las proteínas por los lavados, pérdida de almidón y finalmente la pérdida de calidad del producto, particularmente en sus lípidos y proteínas solubles.

La utilización de tostado consiste en someter a la quínoa a temperaturas de alrededor 50 °C, con el objetivo de “soltar” las capas superficiales y que se desprendan con mayor facilidad con vía seca y/o húmeda. Este método presenta

el inconveniente que se agregan costos al proceso y la exposición del grano a altas temperaturas puede afectar su calidad (desnaturalización de proteínas) y características organolépticas.

A nivel industrial, y dado la necesidad de obtener un grano de mejor calidad nutricional y sensorial, se han desarrollado métodos de escarificación en seco. Este método consiste en someter el grano a un proceso de fricción o rozamiento (escarificado mecánico), para eliminar las capas periféricas del mismo (que son las que mayoritariamente contienen saponinas) en forma de polvo (cascarillas de saponinas). Los medios mecánicos abrasivos utilizados corresponden a tambores giratorios y tamices que permiten un constante raspado de los granos de quínoa contra las paredes de las mallas.

Este método resulta eficiente para la obtención de un producto de calidad y condición, ya que permite una adecuada separación de la saponina (en forma de cascarillas), las cuales se pueden utilizar como un subproducto en distintas áreas (agrícola, farmacológica, cosmetológica, entre otras). Además, dado que no necesita lavados posteriores (salvo antes de su uso) y posteriores secados, no deberían existir pérdidas de calidad de las proteínas del grano por humedad, por lo cual no se afecta la calidad final del producto por esta situación.

En el proceso de escarificado en seco, al someter por esta vía de proceso el grano de quínoa, se generará como resultado final: quínoa desaponificada (75% del peso total de lo escarificado), cascarilla de saponina (5%) y humedad (15%).

Sin embargo, se debe evitar la sobreexposición a la fricción con los medios abrasivos para extraer la saponina, debido a la alta probabilidad de pérdidas del

embrión disminuyendo el contenido proteico del grano.

Otros métodos no han tenido la eficacia esperada en cuanto a extracción de la saponina y potencialidades de comercialización, como es la utilización de hidróxido de sodio, ya que su utilización no se encuentra protocolizada y el mercado de la quínoa es mayoritariamente de tendencia orgánica, por lo que al utilizar este método químico se dificulta la comercialización posterior.

CONSIDERACIONES FINALES

Los métodos de cosecha y postcosecha utilizados en Chile, difieren de acuerdo a la zona productora. La zona altiplánica se caracteriza básicamente por realizar la cosecha de forma manual y la desaponificación por método mecanizado. Bajo este modelo de procesamiento la primera etapa (cosecha) se hace en forma tradicional, sin intervención de maquinaria especializada. Por el contrario, en el proceso de escarificado se utiliza maquinaria especializada o salas de cosecha implementadas para la labor, la cual consta de zona de lavado, tostado, escarificado mecánico y selección automática.

En la zona centro-sur se utiliza preferentemente la cosecha mecanizada estacionaria y mecanizada, utilizando la desaponificación por método de escarificación mecánica. El modelo difiere en la primera etapa en relación a la zona norte, ya que la cosecha preferentemente se hace en forma mecánica, utilizando trilladoras estacionarias y en el caso de terrenos de mayor amplitud (sobre 3 hectáreas) se utiliza trilla totalmente mecanizada. El proceso de escarificado es más semejante entre las zonas, sin embargo el proceso de tostado es menos utilizado para las quínoas del centro-sur de Chile. 🌱

Diversidad de los cultivos de quínoa en Chile

Didier Bazile

Agroecólogo y Geógrafo, Investigador CIRAD, Experto invitado FAO ¹
didier.bazile@fao.org

Eduardo Chia

Dr. HDR en Economía y Gestión, Director de Investigaciones INRA
CIRAD/INRA Montpellier, Francia;
eduardo.chia@cirad.fr

Pablo Olguín

Geógrafo de la PUCV, Valparaíso, Chile;
pablo.olguinm@gmail.com



Parcela de quínoa entre Pichilemu y Paredones.

LA PRODUCCIÓN DE QUÍNOA CHILENA HA CRECIDO MUCHO EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, PARA LLEGAR A CASI 1.500 HECTÁREAS EN 2007. SU ÁREA DE DISTRIBUCIÓN SE EXTIENDE A LO LARGO DEL PAÍS DESDE EL ALTIPLANO HACIA LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CON CONDICIONES AMBIENTALES DIVERSAS. LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SON MUY VARIADOS, Y SIEMPRE VALORIZAN LAS PRÁCTICAS DE UNA AGRICULTURA FAMILIAR Y/O COMUNITARIA.

La quínoa es cultivada desde hace cinco mil años en los Andes Cordilleranos. El auge internacional que hoy posee, gracias a la difusión de los conocimientos sobre sus propiedades nutritivas y al crecimiento de la demanda de productos alimenticios en los países del norte, tiene repercusiones en los países andinos. Desde 1999 en Chile, los proyectos de desarrollo de la quínoa responden al «boom» mundial.

La producción de quínoa chilena experimentó un crecimiento importante entre 1997 y 2007. Las superficies cultivadas (censadas) han pasado de 176 hectáreas (VI Censo Agropecuario INE, 1997) a 1.428 ha (VII Censo Agropecuario INE, 2007).

Numerosas publicaciones relativas a la quínoa chilena afirman que el mercado nacional está en pleno crecimiento. Sin embargo, es extremadamente difícil encontrar justificaciones que respalden esta afirmación. Se dice que el autoconsumo sigue teniendo un lugar muy importante en la utilización de la quínoa y que la venta pasa frecuentemente por mercados informales. No obstante, nuestras encuestas muestran que los agricultores venden una parte cada vez más importante de su producción, a pesar de las marcadas diferencias regionales: >25% de la producción en el caso de los agricultores del sur, >50% en el norte y >85%

en el centro. Pese al crecimiento del número de productores, de la producción y de consumidores, no existen en Chile políticas públicas específicas para fomentar y/o intensificar la producción de la quínoa para la exportación, o apoyar el desarrollo regional.

La quínoa en Chile es producida en tres macro zonas (Figura 1): la zona norte (regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta), la zona centro (regiones de O'Higgins y Maule) y la zona sur (centrada en la región de La Araucanía, pero también hay quínoa en las regiones del Biobío, Los Ríos, Los Lagos y Aysén). Debido a esto, los sistemas de producción son muy diversos.

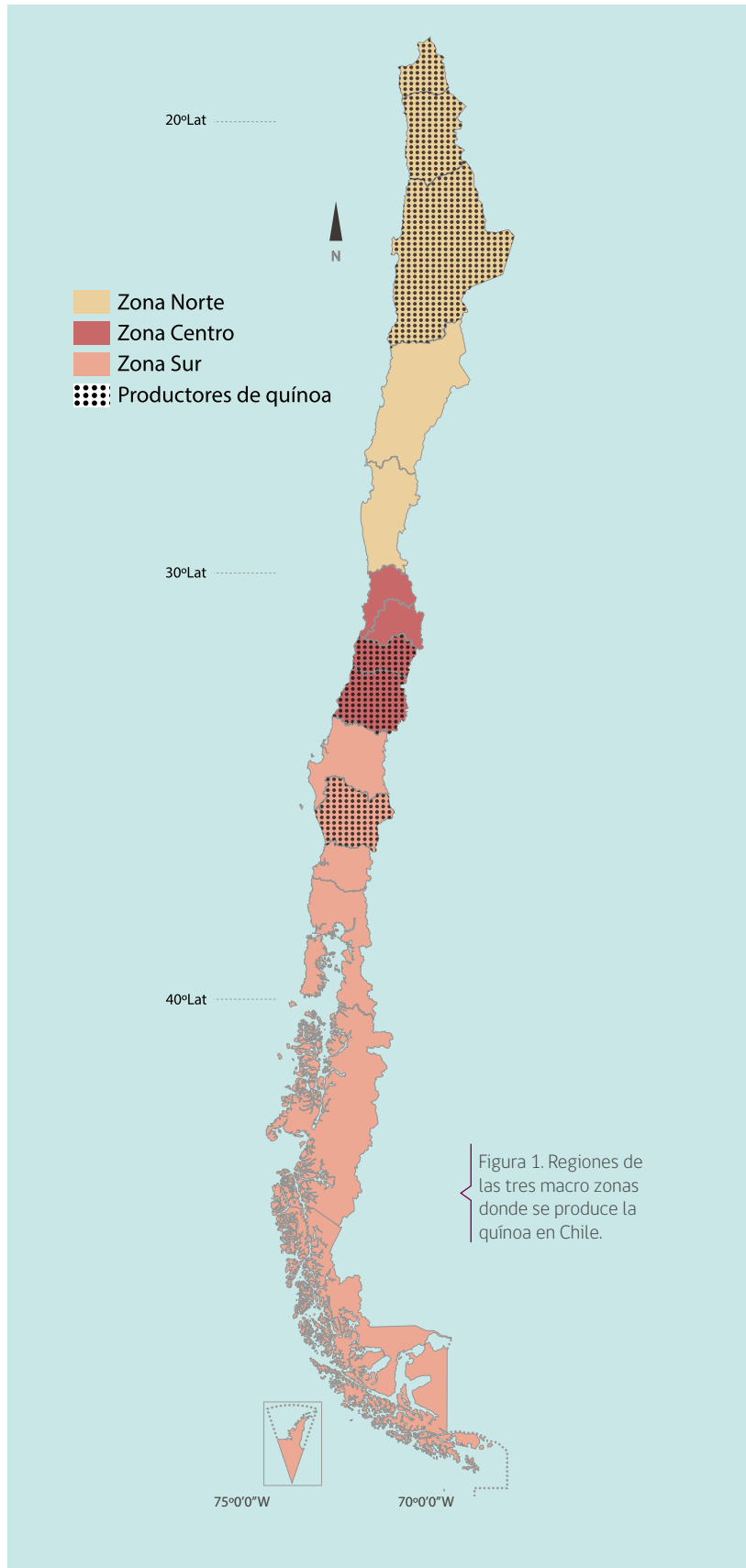
CARACTERÍSTICAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE QUÍNOA

En el altiplano las zonas cultivadas con quínoa tienen influencia tropical, pero se limitan a espacios de altura ("puna"). La quínoa se encuentra de manera exclusiva en el altiplano, en zonas ubicadas a alturas variables entre 3.000 a 4.000 msnm. La altura es un factor que interfiere en la variable temperatura, donde las medias de ésta no sobrepasan los 5° C, con una gran amplitud térmica entre el día y la noche. La pluviometría corresponde a un promedio de 120 mm. Las precipitaciones más importantes ocurren en las tardes de verano. En algunos sectores del

altiplano norte se puede superar los 400 mm al año, sin embargo, éstas disminuyen progresivamente hacia el sur. El altiplano es conocido como desierto marginal de altura con sequías y heladas importantes (200 días con heladas).

En la zona central de Chile, de clima tipo mediterráneo, con un gradiente progresivo de humedad de norte a sur, la orientación del relieve influye en la distribución de las precipitaciones, observándose que aumentan en las laderas occidentales de ambas cordilleras en relación a sus áreas contiguas.

Un clima con nubosidad se encuentra en el sector costero de la parte norte de la segunda macro zona de quínoa, abarcando las planicies litorales y la ladera occidental de la Cordillera de la Costa, actuando esta última como biombo climático, que limita la nubosidad que va en dirección frontal. El clima está determinado por la cercanía del mar, que modera las temperaturas y produce una gran humedad que se manifiesta en gran cantidad de días nublados. Las precipitaciones anuales se concentran en invierno y varían entre algo más de 500 mm (región de O'Higgins) en la parte norte hasta casi 800 mm en el sector sur (región del Maule). Entre los meses de mayo y agosto cae alrededor del 80% de las precipitaciones anuales. Los meses de octubre a abril presentan menos de 40 mm de agua caída, definiendo así una estación seca



que dura 7 meses. La mayoría de las parcelas de quínoa de la macro zona centro se ubican cerca de la costa entre Pichilemu e Iloca, hasta unos 35 kilómetros al interior, bajo este clima.

En la zona sur de Chile, la producción de quínoa se presenta bajo características climáticas de dos tipos. Un primer clima registra un régimen pluviométrico que alcanza valores promedio anuales de hasta 2.000 mm de precipitaciones, con sus valores máximos en los meses de invierno y una disminución en los meses estivales. Las amplitudes térmicas son de características moderadas en aquellas zonas ubicadas más hacia la costa, aumentando a medida que nos acercamos a aquellas zonas ubicadas en el sector cordillerano. Otro tipo de clima que se observa en la zona sur, corresponde a un clima más austral sin estación seca marcada. Las características pluviométricas presentan registros casi continuos durante todo el año. Las temperaturas registran amplitudes moderadas entre el día y la noche, alcanzando valores de hasta los 5°C y registros medios anuales de casi 12°C. El clima templado cálido con estación seca corta (menos de 4 meses) se presenta en la zona intermedia de la región, ubicada en la parte norte de esta macro zona hasta las proximidades de los 39° S. A medida que se avanza hacia el sur las temperaturas disminuyen progresivamente. El régimen de lluvias presenta valores altos y homogéneos a lo largo de todo el año, con una ligera disminución en primavera.

UN CULTIVO ÚNICO EN LOS SISTEMAS ALTIPLÁNICOS

Las posibilidades productivas son restringidas para la población presente, de origen aymara y organizada en comunidades (*ayllus*), lo que explica la presencia

ancestral y el mantenimiento de la quínoa como cultivo principal junto a la papa y maíz en pequeños sectores. El sistema de producción de la zona está basado en estos dos productos, y la ganadería de camélidos (llamas y alpacas) desde tiempos ancestrales. Los trabajos agrícolas son realizados de manera comunitaria "ayne". El intercambio de productos con comunidades de otros pisos agroecológicos, como hortalizas en la precordillera, completa la estrategia alimentaria tradicional.

La quínoa sigue todavía siendo un cultivo con un manejo agroeconómico ancestral caracterizado por la ausencia de fertilización química, control de plagas y enfermedades, bajo nivel de mecanización en todo el proceso productivo, no existiendo tampoco selección de cultivares. En este marco productivo, las Cooperativas QuínoaCoop de Ancovinto y Jaira Marka en Colchane están tratando de producir una quínoa bajo un sello orgánico para lograr exportar. La quínoa juega un rol predominante en el patrimonio agrícola aymara, no obstante, las mayores superficies con quínoa son sólo de 3,6 hectáreas por agricultor en Colchane, 1 hectárea en Cancosa y menos de 0,25 hectáreas en Socaire, más hacia el Altiplano sur (cerca de San Pedro

de Atacama). La preparación del suelo se realiza entre noviembre, diciembre y enero cuando existe rotación de cultivo, extendiéndose hasta agosto en algunos casos. La siembra se efectúa en el mes de agosto, con una concentración de esta actividad en septiembre. La siembra de quínoa, tradicionalmente a mano, se ejecuta a una cierta profundidad (a veces hasta 30 cm) en hoyos. Esto sirve para proteger las plantas del viento frío y las heladas y, también para aprovechar la humedad del suelo hasta que las lluvias se inician, para sostener el desarrollo de las plantas. La cosecha es temprana en Socaire (enero-marzo), comparativamente con zonas como Colchane (mayor concentración en abril-mayo).

Por otro lado, los suelos recuperan su fertilidad gracias a la rotación de parcelas y a la complementariedad con la cría de llamas. Éstas también se alimentan de los residuos vegetales de la planta de quínoa, y aportan abono orgánico durante los años de barbecho. Pero estos últimos años, los agricultores quieren evitar la entrada de los animales en las parcelas quemando los residuos vegetales.

Una de las prácticas más comunes es la utilización de una gran diversidad de tipos de quínoa, según la exposición relativa de las

parcelas al frío y a las heladas. La quínoa se diferencia en esta zona, primero por el color de los granos, después por tamaños de las plantas y de las panojas. En conclusión, aunque los agricultores poseen un amplio conocimiento de los tipos de quínoa, ninguno de los agricultores posee todos los tipos ni conoce toda la diversidad.

Para una mejor gestión de la biodiversidad agrícola es necesario compartir los saberes tradicionales para evitar el riesgo consecuente de provocar una erosión genética y pérdida de germoplasma. No obstante, la existencia de la quínoa puede verse comprometida, ya que los agricultores de la zona tienen una edad avanzada (los abuelos tienen más de 60 años) y sólo disponen de la mano de obra familiar en momentos puntuales (cosecha y siembra). Esta situación se agrava, ya que sólo un 25% de los jóvenes se queda actualmente en la comuna. Existe una importante migración hacia las ciudades cercanas de Iquique y Arica, lo cual va en aumento. Esto conlleva a que la disponibilidad de mano de obra sea baja, y a que las costumbres locales y la estructura tradicional de comunidad indígena que mantienen sistemas, prácticas y variedades campesinas, evolucione.

SISTEMAS DE CULTIVOS DEL SECANO COSTERO

La quínoa sigue cultivándose en algunas zonas del secano costero de las regiones de O'Higgins y del Maule. A pesar de haber sufrido una reducción importante de superficie en las últimas décadas, debido al aumento de plantaciones forestales, algunos agricultores han mantenido este cultivo como tradición familiar en una zona donde los cultivos principales son: trigo, maíz, cebada, papa y legumbres. La superficie destinada a la quínoa puede ir desde unas filas



Quínoa altiplánica, Cariquima.

hasta parcelas de 10 hectáreas. Los agricultores que siembran superficies grandes son dueños de su tierra, el resto arrienda la mayoría de las tierras bajo convenios en los que pagan un porcentaje de su producción (mediaría). Éstos pueden también trabajar fuera de sus explotaciones (empresas, actividad forestal, industrias agrícolas, etc.) para completar sus ingresos. Se trata, en su mayoría, de agricultores de edad avanzada (promedio 65 años).

la existencia de varios caminos de selección de semillas por parte de grupos aislados de agricultores de la zona. Considerando la repartición de las siembras y su impacto en la distribución de las cosechas, se pudo plantear la hipótesis de la presencia de un tipo particular de quínoa, con un alto coeficiente de foto-período al lado de otros tipos menos sensibles a la duración del día o sólo sensible a las temperaturas para su desarrollo. Los distintos manejos de los sistemas

la quínoa en el sur del país es reducida. Su explotación se encuentra bajo un enfoque de agro-biodiversidad, y de manera general cultivada por las mujeres campesinas en pequeños huertos próximos a sus casas, junto con hortalizas, como ha sido costumbre en la zona, en pequeñas superficies (normalmente de 100 a 2.000 m²). Estas superficies nunca figuran en el Censo Agropecuario Nacional de Chile, lo que explicaría el desconocimiento del cultivo en

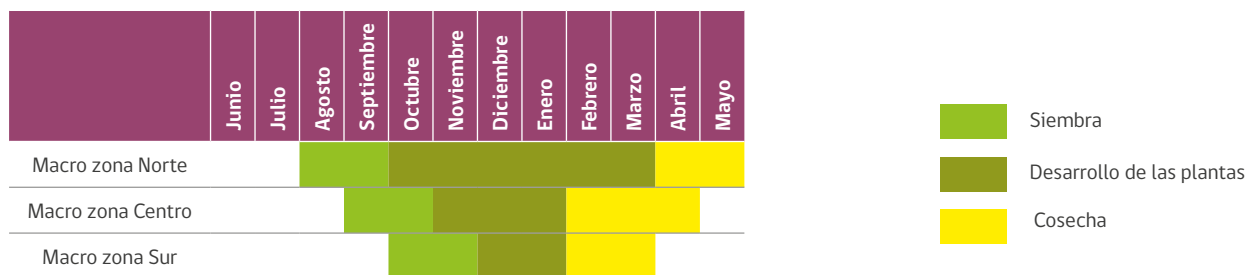


Figura 2: Características generales de los ciclos vegetativos de la quínoa en las distintas macro zonas de producción en Chile.

En la comuna de Paredones se encuentra el porcentaje más bajo de cultivo de quínoa por explotación (35%), con respecto a las comunas de Pichilemu (60%) y Pumanque (50%). En esta zona la preparación de la tierra se realiza a partir de agosto hasta noviembre. La siembra se realiza entre octubre y noviembre y la cosecha se concentra en los meses de febrero y abril.

Para los productores de todas las zonas de la macro-región centro existe sólo un tipo de quínoa: "blanca"; sin embargo, señalan distintos sinónimos (blanca, dorada, amarilla). Este resultado nos llevó a realizar un análisis más fino a partir de las prácticas agrícolas desde la siembra hasta la cosecha, validando de esta forma la hipótesis de

de cultivos y sistemas de producción por parte de los campesinos, han generado una alta diversidad genética de la quínoa que se mantiene por sus prácticas en los sistemas productivos con la quínoa. Esta diversidad genética se refleja en aspectos agro-morfológicos de las plantas (color, tamaño, ciclo, etc.) Pero la importancia reciente de la venta de semillas en la zona puede repercutir en la pérdida de esta diversidad de semillas, homogeneizándola en toda la zona para responder a la solicitud proveniente del mercado.

LA TRADICIÓN DE SEMBRAR LA QUÍNOA EN LOS HUERTOS POR LAS MUJERES MAPUCHES.

Actualmente la presencia de

el sur. La quínoa mapuche siempre se siembra en corrales o con abundante guano de corral. Esta característica no es común en otras regiones, donde la quínoa está considerada como un cultivo que no necesita ningún fertilizante para crecer, ni tampoco agroquímicos ni pesticidas. En los huertos, la quínoa acompaña al maíz, al proto y papas, protegiendo a estas últimas del fuerte sol en verano. La diferencia más relevante entre la quínoa altiplánica y la *kinwa* o *dawe* en lengua mapuche, es que esta última se produce en zonas con mayores precipitaciones y menores alturas sobre el nivel del mar. Esto genera un manejo totalmente distinto, especialmente en la densidad y la profundidad de siembra por la escasa fertilidad y humedad como



Andenes de quínoa, Cancosa.

en el caso altiplánico.

Para captar esta variabilidad en la quínoa del sur de Chile, se han desarrollado descriptores específicos de interés para la caracterización de las variedades campesinas y entre esos, algunos como color de panoja, color grano, días entre siembra-cosecha, tamaño de grano y número de semillas por gramo, densidad de panoja, valor nutritivo y aptitud de uso, etc. La fenología del cultivo aparece como el principal criterio que permite clasificar los tipos de quínoa entre precoces, semi-tardías y tardías. De esta manera, los tipos de quínoa que presentan entre 68 y 80 días entre la siembra y la floración (130-150 hasta la cosecha), son los que corresponden a los tipos precoces en relación a los tipos andinos.

CONCLUSIÓN

La explosión a partir de los años '90 de la demanda de quínoa en el hemisferio norte, ha despertado en Chile un cierto interés por su


producción y su transformación, lo que se ha traducido en un aumento de proyectos, cuyos objetivos son la organización y el desarrollo de la cadena de valor de la quínoa chilena, tratando de aumentar la exportación y en menor medida el consumo nacional. Otros actores se interesan en este cultivo por sus cualidades alimentarias y por el lugar que tiene en su cultura, como es el caso de los mapuches al sur y de los aymaras al norte.

Las políticas agrícolas chilenas han privilegiado desde hace más de 30 años, el apoyo a los productores orientados a la exportación, lo que globalmente coincide con un apoyo a las explotaciones agrícolas de tamaño mediano a grande y con importantes inversiones. Los pequeños agricultores, incluyendo los productores de la quínoa, se benefician solamente de políticas generales de desarrollo rural. En este contexto, las iniciativas de los promotores públicos o privados van dirigidas inicialmente a estructurar la producción de la quínoa a nivel

local, sin interesarse necesariamente por definir una estrategia nacional que implique una concreción con los actores de otras regiones, para definir una visibilidad y unos objetivos comunes, necesarios para el establecimiento de una política pública agrícola nacional respecto a la quínoa. Este hecho nos permite constatar que la quínoa tiene una cierta capacidad para actuar como "activador" para el desarrollo local de manera sostenible, ya que integra la dimensión territorial. Ciertamente, esto depende de la solidez y de la legitimidad de los promotores de los proyectos. Estas situaciones, diferentes según las estrategias de los actores locales, sirven para comparar las tres principales zonas geográficas de producción de quínoa en Chile y para proyectarse hacia una coordinación nacional de actores, principalmente de productores.

En este sentido, el proyecto IMAS¹ impulsó el desarrollo de un diálogo entre todos los actores a escala nacional, que reconozca las especificidades regionales para fomentarlas a través de un espacio de diálogo y reflexionar en conjunto sobre proyectos integrados.

Esto se traduce en una mesa nacional de la quínoa² en donde los actores del sector privado y público, a nivel local y nacional, se encuentren para compartir y construir nuevas acciones, favorecer las innovaciones, con el objetivo de consolidar una cadena de valor de la quínoa socialmente eficiente y espacialmente integrada e integradora.

Nuestro análisis nos permite determinar en qué medida un estudio de caso sobre este cultivo marginal en Chile, puede convertirse en una herramienta adecuada para el desarrollo territorial integrado, e interrogarnos sobre la relación entre los actores a diferentes escalas. 

1 Sitio web general del proyecto IMAS : <http://imas.agropolis.fr/>, y sitio desarrollado para el caso Chile.
2 <http://www.odepa.gob.cl/articulos/MostrarDetalle.action?idn=2410&idcla=12>

Quínoa: oportunidad y desafío para la Agricultura Familiar Campesina en Chile

Jorge Díaz

Ing. Agrónomo, Dr. Especialista en Malherbología,
jdiaz@inia.cl

Ivette Seguel

Bióloga M. Sc. Especialista en Recursos Genéticos,
isequel@inia.cl

Arturo Morales

Ing. Agrónomo, especialista en Recursos Genéticos,
arturo.morales@inia.cl



Vista panorámica del módulo de caracterización de quínoa.

CONSIDERADA COMO UNO DE LOS ALIMENTOS CON MAYOR FUTURO EN EL MUNDO POR LA FAO, LA QUÍNOA SE PRESENTA COMO UNA GRAN OPORTUNIDAD PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES Y CAMPESINOS. EN ESTE ARTÍCULO LOS AUTORES DAN A CONOCER LOS PRINCIPALES DESAFÍOS, AVANCES Y POSIBILIDADES DE INDUSTRIALIZACIÓN DE LA QUÍNOA EN CHILE.

La quínoa se encuentra en la categoría de “especies olvidadas y subutilizadas”, caracterizadas por su potencial para enfrentar desafíos mundiales como reducir el hambre y la pobreza, aportar a la biodiversidad y adaptarse al cambio climático. Su revalorización está dada por sus cualidades agroecológicas, nutritivas, terapéuticas y potencial en la lucha contra la inseguridad alimentaria, siendo catalogada por la FAO (2013) como uno de los alimentos con mayor futuro en el mundo e importante aporte a la solución de problemas de nutrición de la población.

El grano de quínoa es fácil de digerir, de buen sabor y fácil preparación, convirtiéndose en un alimento para consumidores preocupados de la salud (Landauer, 2001). También destaca en nuevos productos o suplementos alimenticios, destinados a personas con problemas cardiovasculares, hipertensión, diabetes, obesidad mórbida e intolerancia al gluten. La harina de quínoa se usa para elaborar diferentes alimentos, y su grano puede ser utilizado en la industria de bebidas malteadas, y para la alimentación del ganado.

El grano contiene saponinas (componente a nivel de la cubierta del grano), que son glucósidos que determinan en gran parte el sabor amargo y que afectan a la absorción de ciertos nutrientes

(zinc y hierro), pero una vez desaponificado no pierde su efecto nutricional, el que junto a su gran capacidad de adaptación y múltiples usos, explican el interés por el cultivo en diversas partes del mundo. En efecto, la demanda de quínoa está aumentando en Estados Unidos, Europa y Asia. Este posicionamiento en el mercado mundial y el nivel de precio que ha ido alcanzando, representan una interesante oportunidad en términos económicos para pequeños productores.

OPORTUNIDAD PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR CAMPESINA

Según la FAO (2013), la Agricultura Familiar Campesina (AFC) es la forma predominante de agricultura, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, constituyendo una parte importante de la solución a la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza.

Los productores pertenecientes al segmento AFC, desarrollan sistemas agrícolas diversificados, preservando alimentos tradicionales que en conjunto a cultivos anuales tradicionales, ganadería extensiva y horticultura, contribuyen a una dieta equilibrada y a la protección de la biodiversidad agrícola. Una de sus características fundamentales es que sus ingresos,

por lo general, no sobrepasan el salario mínimo, dependiendo principalmente de sus actividades agropecuarias y de otras como la comercialización y administración, utilizando sobre todo mano de obra familiar. Todas estas características hacen que la AFC tenga un potencial único para avanzar hacia sistemas alimentarios más productivos y sostenibles, si el entorno de políticas les apoya en este camino.

Por tanto, en este segmento se debe propiciar la sostenibilidad económica, social, política y ambiental, ejecutando una serie de acciones que van desde la generación de tecnologías más apropiadas hasta el impulso de todas las modalidades de capacitación, promoción para la reconversión, y el fortalecimiento de organizaciones al interior de las comunidades. Para cambiar esta posición de rezago de la AFC y fortalecer su desempeño, se hace necesario contar con opciones productivas que complementen la explotación de cultivos tradicionales, que en muchos casos son utilizados para el autoconsumo.

Hoy, una alternativa real para la AFC es competir por diferenciación con productos que posibiliten generar ingresos con excedentes adicionales para el grupo familiar. En este sentido, la quínoa se vislumbra como una oportunidad de explotación interesante y económicamente viable para la

AFC, y también para agricultores con una mayor disposición a diversificar sus cultivos.

DESAFÍOS TECNOLÓGICOS PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE QUÍNOA

Actualmente no existe información disponible sobre el manejo eficiente del cultivo en Chile. Éste se realiza basado en el conocimiento empírico que los productores han adquirido tras generaciones de manejo y cultivo. Dicho escenario ha propiciado bajos niveles de rendimiento y baja calidad de la producción, impi-

en la zona centro y sur de Chile. INIA Carillanca en conjunto con la Universidad de La Frontera (UFRO), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), la Municipalidad de Vilcún, empresa privada (Agroforestal La Esperanza Ltda.) y 4 comunidades mapuches de Vilcún (Domingo Canio N°2, Antonio Paine, Antonio Paine de Curileo y Domingo Canio) tienen una propuesta metodológica integral que permitirá impulsar este rubro en el sur de Chile. La propuesta cuenta con financiamiento de FIA y su ejecución está planificada entre los años 2015

riego; identificar herbicidas selectivos, momentos de aplicación y de eficacia en el control de las malezas; identificar los principales problemas sanitarios y de plagas para recomendar las mejores opciones de control. Además, identificar zonas agroclimáticas más aptas para el cultivo, entre otras. Consecuentemente, integrar en un paquete de manejo agronómico cada uno de estos factores de producción, que aseguren rendimiento y calidad en la producción de quínoa. Sumado a lo anterior, se espera contar con una propuesta de manejo agronómico valorado financieramente.

Sub-colección	Origen de la accesión	Año ingreso	Nº accesiones
Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	Sur de Chile	2004	5
Universidad de Buenos Aires (UBA)	Sur de Chile, EE.UU., Inglaterra, Dinamarca	2013	26
Asociación de Municipalidades Pre Cordillera Andina y Semillas Baer	Sur de Chile	2004	94
TOTAL ACCESIONES			125

Cuadro 1. Germoplasma de quínoa conservado en el Banco Activo de Semillas de INIA Carillanca.

diendo impulsar este rubro como una alternativa óptima para la pequeña agricultura del país. Particularmente, en la región de La Araucanía se utilizan genotipos locales y semilla de baja calidad, con rendimientos que no superan los 600 k/ha. Este bajo techo productivo se debe en gran parte a la escasa oferta de variedades (en el país se comercializa la única variedad registrada: Regalona-B), además de no contar con un protocolo de manejo tecnificado, documentado y difundido para el cultivo.

Para revertir la situación antes descrita es clave realizar investigación y desarrollo de tecnologías para un adecuado manejo y ampliación del cultivo

- 2018, abordando los siguientes ámbitos:

1. Varietal y de valorización del recurso genético. Busca identificar germoplasma con atributos superiores en términos de rendimiento y calidad, que permita en el mediano y largo plazo obtener variedades adaptadas a las condiciones agroclimáticas del sur de Chile.

2. Manejo para optimizar rendimiento y calidad del cultivo. Esto incluye determinar la época adecuada de siembra, dosis óptima de semilla y espaciamiento; dosis óptima (física y económica) de nutrientes, como N y K, y su parcelización en diferentes estados fenológicos; cuantificar la cantidad necesaria de agua y épocas de

3. Desarrollo de prototipos industriales. Por ejemplo, bebida saborizada, mote de quínoa y suplementos nutritivos, entre otros, que permitan dar valor agregado al cultivo; dirigidos a distintos nichos de mercado.

4. Transferencia tecnológica. Las comunidades asociadas a esta iniciativa se beneficiarán a través de semilleros participativos, semilla y asesoría técnica para el establecimiento y manejo del cultivo, además de prototipos industriales para su comercialización. En forma indirecta otros agricultores se verán favorecidos por actividades de transferencia realizadas por INIA, Municipalidad de Vilcún, INDAP y SAG a través de la implementación



Panoja de quínoa.

de una Vitrina Tecnológica y de la difusión de un Paquete Tecnológico (PTEC Quínoa-INIA).

DISPONIBILIDAD DE GERMOPLASMA ADAPTADO A LAS CONDICIONES DEL SUR DE CHILE

La quínoa chilena, al igual que la de otros países andinos, siempre ha sido de alto interés para países desarrollados, debido a los atributos que esta especie posee.

En 1978, germoplasma chileno de quínoa fue caracterizado y seleccionado en Europa, el cual correspondió a materiales adaptados a las condiciones del sur de Chile, conocidos a través de sus nombres locales: Baer, Faro, Litu y Pichamán (Risi, 1986). El germoplasma chileno, al que se sumó germoplasma andino colectado en 1982, sirvió de base al programa de mejoramiento que se estableció en Inglaterra (Universidad de Cambridge) y de ahí se distribuyó a Dinamarca, Holanda y otros países.

La selección de genotipos aptos para la producción comercial depende en gran parte de una adecuada evaluación de la variabilidad genética existente. INIA conserva en sus Bancos de Germoplasma una importante colección de quínoa. De éstas, 125 corresponden a materiales colectados bajo condiciones agroclimáticas del sur de Chile, 94 accesiones son de una colecta realizada en 2008 por la Asociación de Municipalidades de la Precordillera de la región de La Araucanía y Semillas Baer. También forman parte de esta colección, 26 accesiones repatriadas desde la Universidad de Buenos Aires, Argentina y, las accesiones restantes fueron colectadas por el Programa de Recursos Genéticos de INIA. Todos estos materiales fueron depositados para su conservación en el Banco de Activo de

Semillas de INIA Carillanca (Cuadro 1), y corresponde a la colección que será evaluada en el marco del proyecto FIA adjudicado.

AVANCES EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL CULTIVO

Aunque en Chile se han desarrollado iniciativas en torno a la quínoa, muchos de estos resultados en el ámbito agronómico son genéricos y no han permitido optimizar el manejo del cultivo, o bien, se están desarrollando bajo otras condiciones agroecológicas y con tecnología enfocada a un tipo

de agricultor mediano a grande. De esta forma, la quínoa en el sur de Chile, continúa siendo un cultivo incipiente y destinado principalmente al autoconsumo, particularmente por la AFC mapuche.

En cuanto al manejo agronómico, en INIA Carillanca se están realizando evaluaciones preliminares de épocas de siembra, utilizando dosis de siembra de 16 kg/ha, cuyos primeros resultados estarían indicando que una fecha adecuada correspondería al mes de septiembre para las condiciones ambientales de la región.

Es sabido que las malezas

tienen un alto impacto en el rendimiento y son una de las principales limitantes del cultivo de quínoa, requiriendo varios momentos de control (consumen entre 10 a 30 J/H), desde la siembra a floración. En la actualidad, el control de malezas en quínoa es exclusivamente mecánico o manual, dado los escasos o contradictorios resultados obtenidos con herbicidas. Frente a esta situación se están evaluando diversas opciones de herbicidas, que consideran aplicaciones de presiembra y postemergencia para definir la(s) mejor(es) opción(es) de control de

Semilla de quínoa.



Módulo de evaluación de herbicidas de quínoa.



Relación de altura de algunos ecotipos de quínoa.


malezas que invaden el cultivo de quínoa. Tratamientos de pre-emergencia con metamitron y propizamida, y de postemergencia con propizamida están demostrando ser tolerados adecuadamente por la quínoa. Excepcionalmente, también algunos herbicidas de la familia sulfonilureas aplicados en postemergencia están mostrando niveles de selectividad en el cultivo, pero aún se requieren mayores evaluaciones para llegar a una adecuada conclusión.

Por otra parte, observaciones preliminares realizadas a nivel de campo para detectar la presencia de enfermedades y plagas, sugieren que sería un cultivo relativamente sano o con baja presión de problemas fitosanitarios.

POSIBILIDADES DE INDUSTRIALIZACIÓN Y GENERACIÓN DE PROTOTIPOS

En La Araucanía está presente la industria orientada a las necesidades de empresas que fabrican alimentos a base de granos, entre ellos la quínoa (desaponificada y harina). Se espera -a través del proyecto FIA-, desarrollar prototipos de productos industriales y realizar pruebas de mercado a partir de genotipos de quínoa seleccionados por características agronómicas sobresalientes y de adaptación, calidad de grano y valor nutricional. Esta actividad la realizará el Instituto de Agroindustria de la UFRO.

Los prototipos industriales

serán sometidos a diferentes tipos de análisis proximales (físico-químicos, microbiológicos, bioquímicos, vitaminas y minerales), a modo de caracterizar sus propiedades funcionales, nutricionales y sensoriales. Además de los prototipos desarrollados, se espera proporcionar alternativas de procesamiento de la quínoa apropiables por algunos actores de la AFC (los que cuenten con capacidades y competencia mínimas), para hacer el escalamiento industrial. La idea es avanzar en procesos de transformación de la quínoa por parte de la AFC, de modo que no sean sólo productores de una materia prima, sino que cuenten con productos nuevos altamente diferenciados. 

¿Es rentable la producción de quínoa en Chile?

Un análisis desde los costos de producción

Enrique Martínez

Ph.D. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA

Enrique.a.martinez@ceaza.cl

Iván Donoso

Ing. Agrónomo

Eduardo Chia

Dr. HDR en Economía y Gestión, Director de Investigaciones INRA

CIRAD/INRA Montpellier, Francia;

eduardo.chia@cirad.f



CONOCER LA RENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE LA QUÍNOA ES UN FACTOR CLAVE PARA MEJORAR LA COMPETITIVIDAD Y BIENESTAR DE LOS PRODUCTORES, LOS PROCESOS DE COMERCIALIZACIÓN Y DE CONSUMO INTERNO. EN ESTE ARTÍCULO SUS AUTORES ANALIZAN LA CORRECTA MEDICIÓN DE RENTABILIDAD, TIPOLOGÍA DE COSTOS Y PRESENTAN CINCO CASOS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN CHILE.

En general, cuando se quiere saber si una producción es «rentable» se realiza un análisis comparativo entre lo que cuesta (costos) el producir y lo que se gana vendiendo el producto (beneficios). Sin embargo, la verdadera rentabilidad económica mide la tasa de devolución producida por un beneficio económico (anterior a los intereses y los impuestos) respecto al capital total, incluyendo las cantidades prestadas y el patrimonio neto (que sumados forman el activo total). Esto, además, es totalmente independiente de la estructura financiera de la empresa.

En este estudio se calcula más bien la diferencia entre costos directos de producción y ventas, lo que se conoce como el margen bruto ($MB = \text{producción} \times \text{precio de venta} - \text{costos directos}$). Para la correcta medición de rentabilidad se necesitaría calcular la variación de stock y los costos indirectos, algunos de los cuales mencionamos en este artículo, de forma referencial.

Los costos no están fácilmente disponibles al público externo, más aun si la empresa no tiene una contabilidad clara o si pertenece al mercado informal, donde hay pocos registros de las operaciones de compra y venta, que es a menudo el caso de las explotaciones agrícolas de pequeña escala en el mundo. Esto es aún más comprensible en el caso de la quínoa que era un cultivo que hace siete años estaba casi en extinción en Chile, con menos de 1.500 hectáreas en manos de

menos de 300 productores de pequeña escala, como se registra en el censo agrícola de 2007 (Alfoso-Bécares y Bazile 2009). Por ello los costos de producción eran muy poco conocidos.

Un primer estudio en zonas áridas, no ligado a una explotación agrícola particular, que reveló en forma independiente los costos de producción de quínoa fue realizado precisamente el año 2007, gracias a un proyecto financiado por Innova CORFO (ex FDI). En esos años el costo de producción de quínoa bajo riego tecnificado, bordeó globalmente los 500 mil pesos por hectárea. Esa evaluación tomó en cuenta las condiciones de producción de la región árida de Coquimbo, que en los últimos 100 años dejó de ser zona productora de granos para convertirse en una zona de gran importancia hortalicera y frutícola. Con ello se desarrolló fuertemente el riego tecnificado. Esto pasó también para el mundo agrícola industrial del centro y sur del país. Durante el curso de ese y de otros proyectos, el equipo de investigadores fue ganando la confianza de los productores y permitió realizar encuestas que revelan hoy los reales costos de producción. Por su parte los agricultores altiplánicos de quínoa, en su mayoría de origen aymara y quechua, tienen otra realidad y dinámicas agro-ecológicas y sociales que hacen más difícil las comparaciones directas de costos de producción.

Antes de analizar los costos de producción actuales de quínoa de

algunas explotaciones del Norte Chico, centro y sur de Chile es necesario precisar que el objetivo de este trabajo es identificar el margen bruto mínimo que esta actividad agrícola puede generar. Se considera para ello los precios de venta del producto en el mercado formal chileno. Otras cuatro precisiones muy importantes permitirán sopesar el análisis teórico con lo que en realidad ocurre en el mundo agrícola relacionado a este noble cultivo:

1. La rentabilidad positiva ($MB > 0$) de un cultivo no implica el éxito inmediato del productor. Esto por lo complejo de la estimación de una rentabilidad real. Hay razones internas a cada explotación, como cuando se incluye la rentabilidad de otros cultivos dentro de la misma explotación, o por razones externas al productor. Por ejemplo la necesidad del mercado de contar con otros valores un poco ajenos a la realidad agrícola propiamente tal, o costos indirectos. Es el caso donde a veces se necesita de una certificación (orgánica por ejemplo) o de un sistema de códigos de barra, a menudo exigidos por los supermercados, o cuotas de créditos, o situaciones informales de medieros que es el caso de algunos productores de pequeña escala. Estos costos indirectos se suman a aquellos de los insumos de la producción.

2. En Chile existen dos canales de venta de quínoa. Uno formal que son los supermercados o negocios establecidos y otro más

informal que es la venta directa a consumidores. Estas redes de proximidad familiar están muy de moda, aunque más formalizadas, en la Europa de hoy. Por ejemplo, las AMAP (Asociaciones por la Mantención de una Agricultura Campesina) de Francia que buscan fortalecer las redes de comercio locales.

3. Los precios de venta altos que hoy se registran en supermercados para la quínoa (Tabla 1), debieran considerarse para la elaboración de escenarios de evolución. Los volúmenes de venta de quínoa en supermercados chilenos son bajos en comparación a sus ventas, por ejemplo, de arroz blanco. Para ello basta observar la gran desproporción de envases disponibles de cada tipo de grano en sus estanterías. Por tanto, si bien los precios de quínoa son altos en el mercado formal chileno su utilidad en este artículo será sólo referencial para un análisis más realista del potencial real de rentabilidad.

4. El análisis vía cálculo del margen bruto debe ser completado por un análisis global de la producción para tener en cuenta los imperativos agronómicos (rotaciones, manejos culturales), beneficios colaterales (presencia de una producción que protege otras producciones) y también el gusto de los productores (dimensión cualitativa) por algunas producciones. Este último punto es importante ya que se ha determinado que los productores agrícolas

no tienen como único objetivo la "maximización del beneficio" (Brossier y colaboradores 1998).

En primera instancia, presentamos entonces el listado de los costos de producción (listado teórico de costos para cualquier cultivo anual) y luego los valores registrados en encuestas a productores chilenos de quínoa del Norte Chico (región de Coquimbo), del centro (región de O'Higgins) y sur (La Araucanía), que son las zonas ancestrales, reservorios de la agro cultura y de casi toda la diversidad genética del cultivo de quínoa en Chile (Alfonso-Bécares y Bazile 2009). Se identifican aquí inversiones globales en materia de capital e insumos, luego de mano de obra y otros gastos. Con ello consideramos los factores más limitantes del cultivo, en porcentaje del total de los costos.

En una segunda parte se compara la situación por regiones y por sistemas de producción. Las ganancias potenciales respecto de cada estimación de costos pueden entonces variar según el volumen de producción, el nivel de asociatividad lograda por cada productor para asegurar precios de venta pero también la posibilidad de que esa misma asociatividad sirva para negociar precios de insumos o para compartir costos comunes (como de maquinaria), incluyendo por ejemplo el precio de pelado del grano, un costo de postcosecha.

Finalmente presentaremos una reflexión sobre las condiciones en que los costos de producción son

un "buen" indicador de rentabilidad y pueden guiar la decisión de producción de quínoa. El primer principio es que la explotación agrícola es un sistema complejo y calcular tanto los costos como los márgenes brutos de producción como estimación de la rentabilidad de una producción particular, sin tener en cuenta la globalidad, puede ser un cálculo "peligroso". Es fácil imaginar que si los costos de producción son más importantes que las ganancias, la conclusión será "no es rentable". Podemos imaginarnos, entonces, de aumentar las ganancias vía el aumento del precio de venta (mejor valorización) o del aumento de la producción, e incluso de la disminución de los costos. Pero también vía disminuir los costos de producción, por ejemplo, por compras conjuntas entre varios productores, mejores asociaciones de cultivos, o la disminución de insumos.

TIPOLOGÍA DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

Éstos se dividen en tres grupos: Insumos, labores agrícolas (pre-cosecha y postcosecha) y otros costos como, por ejemplo, los administrativos. En los insumos se encuentran: agua, semilla, guano (según el caso), cintas de amarre, fertilizante foliar (N, P, K y micronutrientes), yeso, mezcla de siembra, urea (según el caso), fertilizante nitrogenado (enriquecido con calcio y magnesio), plaguicida (según

Marca de quínoa	Marca de supermercado (país)	Precio (pesos chilenos/K)
1	1 (Chile)	9.114
2	1 (Chile)	6.650
3	1 (Chile)	9.475
2	2 (Chile)	7.958
4	3 (Francia)	6.120
4	3 (Francia)	4.474

Tabla 1. Precios de quínoa en Chile y Francia (a octubre 2013). Se indican valores en pesos por kilo para 4 marcas de quínoa (no reveladas) en 3 cadenas de supermercados (no indicadas). Los precios para una misma quínoa pueden variar de una localidad a otra, para una misma cadena de supermercado.

Ítem	Productor 1	Productor 2	Productor 3	Productor 4	Productor 5
Insumos (%)	163.904 (22,9%)	30.881 (7,6%)	60.950 (27,6%)	6.000 (3,6%)	305.414 (31,0)
Labores (%)	309.460 (43,1%)	376.000 (92,4%)	160.000 (72,4%)	160.000 (96,4%)	507.500 (51,4%)
Otros costos	243.479 (34%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	173844 (17,6%)
Total costos	716.843	406.881	220.950	166.000	986.758
Rendimientos (k/ha)	869	1000	1200	800	1770
Precio de venta = costo promedio	500	500	500	500	500
Total venta	434.500	500.000	600.000	40.000	885.000
Margen Bruto	-282.343	93.119	379.050	-126.000	786.242

Tabla 2. Costos del cultivo de quínoa en 5 productores (*) del centro-sur de Chile. Valores se indican en pesos chilenos (octubre 2013) y por hectárea. En paréntesis se indican los valores porcentuales para cada ítem.

(*) Los tipos de productores se indican en el texto.

el caso), herbicida (sistémico, no selectivo, de postemergencia y de amplio espectro) e imprevistos. En las labores agrícolas de precosecha se incluye: aporque, arado, rastraje, limpieza de terreno, hechura de acequias, reparación de acequias, melgado, remelgado, siembra, rodón, vibrocultivador, riego, raleo, desmalezado, aplicación de herbicidas, aplicación de plaguicidas y aplicación de fertilizantes. En las labores de postcosecha se incluye: segadora de disco, cosecha de semillas, selección, limpieza (paja) y escarificado. En los otros costos se tiene: combustible (temporada), administración, pago de arriendo, otros imprevistos e intereses bancarios (según el caso).

CINCO CASOS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN CHILE

Como resultado de encuestas, en la Tabla 2 se resumen cinco casos diferentes de productores encuestados donde se indican los costos al año 2013 en pesos chilenos y sus porcentajes relativos al costo total de producción. 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 sólo una parte del total). Los tamaños de las explotaciones son en general pequeñas, una gran diferencia con los casos altioplánicos: Productores 1 a 4 en superficies menores de 2,3 hectáreas, y el caso 5 con más de 10 hectáreas, de las cuales al menos 10 son de quínoa). Sólo 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. Sólo los productores 1 y 5 usan pesticidas y/o fertilizantes químicos. Los rendimientos más comunes de todos estos productores fluctúan entre 800 k/ha y 1.200 k/ha (Tabla 2). En el alti-plano son menores a 1 tonelada por hectárea.

Primero, la comparación de costos revela que son muy diferentes según las explotaciones (de \$160.000 a \$960.000); que los costos mayores están ligados al pago de las labores, donde el costo del desaponificado, según las encuestas, puede llegar a ser

mayor al 50% de todos los costos totales. Sin embargo, esta es una situación desfavorable de productores de pequeña escala. Cuando la explotación es mayor a 10 hectáreas este costo disminuye a menos del 10% (caso 5, del sur) y podría ser equivalente a la **amortización** de la compra de una máquina de pelado o a un pelado contratado por una agrupación de productores. Los productores agrícolas ya se han percatado de este detalle y si en el año 2005 había sólo dos máquinas peladoras de quínoa en Chile, hoy ya hay al menos siete. Los menores costos de producción por hectárea corresponden a producciones tipo en la región de O'Higgins, donde no se riega artificialmente ni se usa pesticidas ni se fertiliza con químicos. En este caso se trata de superficies pequeñas. Lamentablemente los costos del pelado no se indicaron en este caso, pero pueden asumirse como un porcentaje de los costos totales, depende si pagan este costo de postcosecha en forma individual (aproximadamente 50% del total) o asociativamente (<10% del total).

El productor que tiene un mayor costo de insumos por hectárea es el caso 5 (del sur). Estos costos representan aproximadamente un 31% de sus costos totales, e incluyen fertilizantes. Lo siguen



en importancia los productores de los casos 3 y 1, con costos de insumos de un 28 y 23%, respectivamente. Estas diferencias entre los costos de insumos por hectárea se deben al manejo agronómico realizado por cada productor. Los insumos ocupados en la producción varían de acuerdo a la zona donde se cultiva el grano, por ejemplo, en la zona de sur del país donde los suelos son más lavados por las lluvias se debe agregar mayor cantidad de fertilizantes. Hay menor reserva de éstos en el suelo debido a la lixiviación (arrastre de nutrientes), que ocurre cuando se producen eventos de lluvia muy intensos. En cambio, mientras más al norte está el cultivo, sólo se debe agregar materia orgánica al suelo, ya que éste cuenta con reserva de nutrientes para el desarrollo del cultivo. Cabe señalar que la principal diferencia se debe a que no existe una sola manera establecida de cultivar la quínoa. Principalmente los productores que se dedican a este cultivo pueden variar desde una agricultura orgánica en su totalidad (en donde los costos de insumos

son muy bajos) a una producción tradicional aplicando agroquímicos durante el ciclo del cultivo (lo que aumenta considerablemente los costos de insumos).

ESTIMACIÓN DE MÁRGENES BRUTOS

Hemos asumido un rendimiento promedio de una tonelada por hectárea de semillas en postcosecha (o sea libre de cascarilla con saponinas), lo que no es lejano de la realidad del promedio informado (Tabla 2), e incluso puede ser un rendimiento bajo para algunos casos anteriores estudiados en las mismas localidades (Martínez y colaboradores 2009). Con este rendimiento se obtienen costos de producción en pesos por kilo de grano que fluctúan entre \$166/k y \$987/k. Todos estos costos de producción por kilo son al menos 10 veces menores que los precios de venta por kilo de quínoa en Chile, o que los precios de venta en Francia, en ambos casos de quínoas provenientes de Bolivia, y que notablemente en este país europeo son aún más bajos que los reportados para Chile (Tabla 1). Esto último seguramente está ligado a los costos variables por economías de escala, incluyendo los relacionados a la exportación para grandes volúmenes de granos. El cálculo entonces del margen bruto, como una estimación de un porcentaje de rentabilidad, se basa en un rendimiento de 1.000 kilos de grano por hectárea, la diferencia de valores entre un costo resultante de producción promedio (de \$500/k) y un rango de precios de venta posibles entre ese mismo costo de producción (MB=0) y el precio de venta que se incrementa paulatinamente hasta alcanzar el precio máximo, correspondiente al de venta de quínoa en un supermercado, en Chile. Se obtiene entonces una tendencia

de márgenes brutos que dan dos de tres explotaciones con valores negativos si el precio de venta es de \$500/k (Tabla 2). Sin embargo, a medida que los precios de venta suben de este valor (Figura 1) y aún con cifras muy bajas en comparación al mercado de importación/exportación, es decir precios menores a \$2.500/k, que corresponden al mercado de venta informal se observan márgenes positivos. Y ya hay evidencias de facturación a estos precios bajos. Es decir, ventas formales, con pago de impuestos, a precios menores incluso a los \$2.000/k.

Estos precios bajos formales, indican que una formalización del mercado de precios bajos en Chile es posible, y que pueden estabilizarse más cuando los volúmenes de venta sean interesantes (caso del productor 5). Sin embargo, en esta explotación agrícola, al aplicarse insumos químicos, se logran mayores rendimientos que aumentan hasta cierto punto su rentabilidad. Idealmente los productores orgánicos debieran obtener rendimientos equivalentes usando menos insumos. Ésta debería ser una tarea para la investigación científica en ese campo, parte de la cual ya ha comenzado en el CEAZA (Martínez y colaboradores 2009). Luego, el crecimiento del margen bruto, a mayores precios de venta, aumenta y llega a valores exorbitantes de estimación de rentabilidades que bordean el 1.300%. Esta curva, aunque teórica, sirve sin embargo para constatar que un precio de venta "modesto" como el del arroz blanco (\$1.500/k) permite ya una rentabilidad para la quínoa de un 200% para un rendimiento de 1.000 k/ha y una rentabilidad de 50% para un rendimiento de 500 k/ha (Figura 1). Los rendimientos promedio en campos experimentales de agricultores en Chile árido (Coquimbo) fueron de 1.600 k/ha.

Estas estimaciones no consideran amortizaciones que reduzcan paulatinamente los costos del pelado, por ejemplo, en función de un aumento del volumen de producción u otras de las ventajas asociadas a una explotación agrícola más diversa. Sin duda, los productores podrían financiar con esas rentabilidades los costos de certificación orgánica, siempre que los volúmenes de venta local o internacional lo justifiquen. Una propuesta más razonable y realista es que los productores consideren rentabilidades más modestas, pero que pueden ser muy

cación orgánica, antes de suponer que la rentabilidad escale a los valores estimables de los precios de venta que hoy se observan en los supermercados. Idealmente debería haber alta transparencia en la cadena de precios para que el mercado crezca en justicia respecto de la distribución de las ganancias entre productores e intermediarios. Tal propuesta podría incluso expandirse a todas las relaciones comerciales imaginables (Martínez y Olguín 2013).

Este estudio no incorpora datos de la explotación agrícola completa ni de los volúmenes de quínoa que

del arroz blanco. Si sólo una parte pequeña del consumo de arroz blanco se cambiara a quínoa, habría sin duda un gran futuro para este cultivo en Chile, sin necesidad de exportaciones masivas. Entonces, antes de pensar en cambios de manejos agrícolas hacia una producción orgánica, más difíciles de lograr en el corto plazo, pero que permitirían una exportación, la pregunta clave queda entonces: ¿Cómo mejoramos el consumo interno de quínoa en Chile? Una mayor asociatividad entre productores podría mejorar su competitividad si se comparten costos

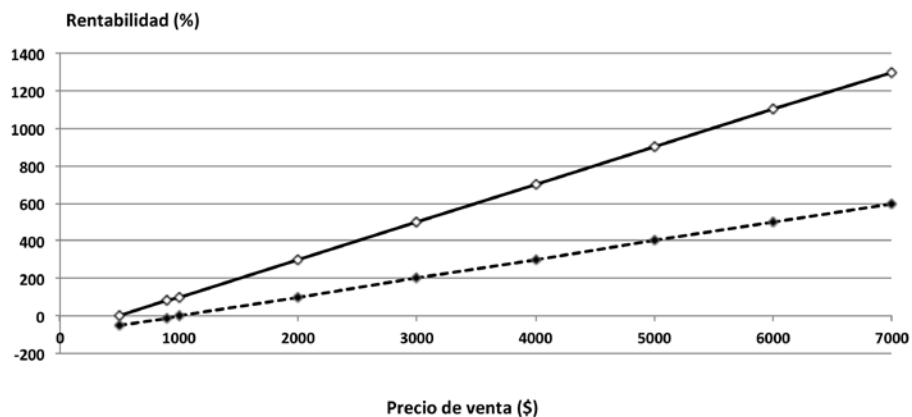



Figura 1. Dos curvas de rentabilidad del cultivo de quínoa, en función del precio de venta por kilo, hasta alcanzar un precio de venta cercano al máximo de un supermercado en Chile (\$8.000/k). La curva sólida se basa en un costo de producción promedio de \$500/kilo (rendimiento de 1.000 k/ha). La curva segmentada se basa en un costo más elevado por kilo (\$1.000/k) y un rendimiento modesto de 500 k/ha. La flecha indica la rentabilidad del cultivo cuando la quínoa alcanza el precio de \$1.500/k, equivalente al precio promedio del arroz blanco. En ambos casos las rentabilidades son positivas (200% y 50%, respectivamente).

competitivas si se equiparan con la quínoa al precio, por ejemplo, del arroz blanco.

CONCLUSIONES

El estudio sobre la estimación de la rentabilidad del cultivo de quínoa en Chile revela que hipotéticamente se pueden lograr altas rentabilidades. Sin embargo, los altos precios de la quínoa de hoy muy probablemente no son transferidos en ganancias equivalentes hacia los productores. Habría que restar costos, como los de certifi-

realmente se demandan en Chile hoy. Un estudio de escenarios de mercados para el país (ver otro artículo de este mismo número), postula precisamente la necesidad de la conquista de mercados internos, considerando que una producción ecológica certificada no es aún muy requerida por el público chileno y que hay necesidades y oportunidades en la transformación del grano que se deben explorar. Para permitir una rentabilidad estable y formal, la quínoa debiera cambiar de estantería en los supermercados y moverse cerca

y se negocian precios más colectivamente. Este es otro desafío de orden social, equivalente al despertar europeo de los mercados de proximidad, que queda abierto y para lo cual la Mesa de la Quínoa, que coordina la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura puede contribuir mucho. A todos estos cambios culturales profundos, que pretenden un real bienestar humano, más allá de la rentabilidad económica a corto plazo, es la meta a la que artículos como éste pretenden contribuir. 

Mercado real y potencial de la quínoa en Chile

Rodrigo Pizarro
Empresa Gestión Agrícola
rpizarro@gestionagricola.cl

Enrique Martínez
Ph. D. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas,
CEAZA
enrique.a.martinez@ceaza.cl



EL MERCADO MUNDIAL DE LA QUÍNOA SE ENCUENTRA EN UNA POSICIÓN INMEJORABLE Y SE VISLUMBRA UN ESCENARIO PROMISORIO PARTICULARMENTE EN PAÍSES COMO BOLIVIA, PERÚ Y ECUADOR. EN ESTE ARTÍCULO LOS AUTORES PRESENTAN UN COMPLETA RADIOGRAFÍA AL ESCENARIO ECONÓMICO ACTUAL A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.

La quínoa, quinua o *kingua* contiene gran parte de los nutrientes, vitaminas, minerales, aceites y aminoácidos esenciales que el organismo requiere. El mercado actual y sus proyecciones indican que la demanda mundial es creciente y que no está satisfecha pues las superficies de siembra aún no se estabilizan (Figura 1).

Esto indica un interés creciente por este grano, particularmente donde la agricultura que los consumidores escogen es aquella con menos abonos o pesticidas tóxicos, que pueden ser dañinos para el ambiente o las personas. Además, la ciencia le descubre nuevas propiedades funcionales para la salud lo que incrementa su demanda, en especial en las sociedades que han tomado más conciencia de la alimentación sana y el consumo de alimentos más saludables (AMS). Por otra parte, los ensayos del cultivo en países donde la quínoa no es originaria, han aumentado y ya se cuenta con

56 países de todos los continentes que en 2014 habrán probado semillas de quínoa de distintas fuentes (Bazile y Baudrón 2014).

EL MERCADO DE QUÍNOA A NIVEL INTERNACIONAL

El mercado mundial de quínoa alcanzó los US\$ 50.124 millones en 2012, mientras la producción anual fue de 96 mil toneladas (FAOSTAT 2012). Se proyecta que la demanda anual siga aumentando sobre 11 mil toneladas anuales, alcanzando un mercado potencial de unas 150 mil toneladas de producción, con una tasa de crecimiento de 12% anual. El crecimiento de la demanda mundial de quínoa ha sido muy variable, aumentado aproximadamente a un ritmo promedio anual de 12% en los últimos diez años pero con variaciones de 167% en ese mismo periodo.

El 80% de la producción mundial es realizada por Bolivia,

Perú y Ecuador. Por esta razón, los gráficos y datos globales provienen en su mayoría de esos 3 países¹.

El 90% de la quínoa es producida por pequeños agricultores². Se estima que existen al menos 70 mil pequeños productores sólo en Bolivia, donde cada uno cultiva en torno a 1 hectárea. En la Figura 1 se muestra la evolución del área sembrada y la producción de quínoa en Bolivia, Perú y Ecuador (región Andina) entre los años de 1983 y 2011.

En relación a las exportaciones, en 2012 fueron exportadas 43 mil toneladas de quínoa, donde los principales exportadores fueron Bolivia (25.700 toneladas) y Perú (10.500 toneladas). El ritmo de crecimiento de las exportaciones no ha sido tan estable, más bien se ha acelerado durante los últimos años. De 1992 a 2002 las ventas se multiplicaron 4 veces, mientras que del 2002 al 2012 lo hicieron por 39 veces.

El precio de la quínoa varía

Área de superficie sembrada y Producción en toneladas 2000- 2011

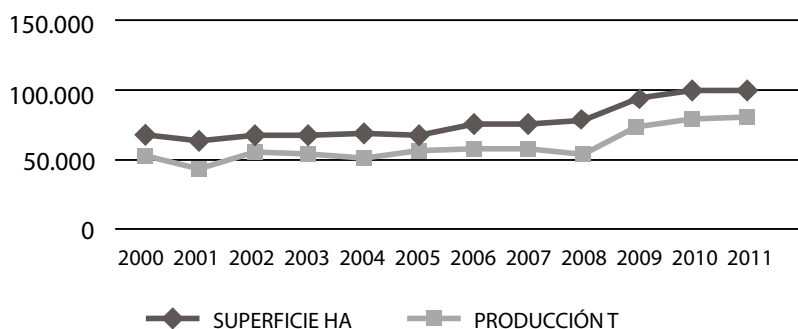


Figura 1. Área de superficie sembrada y producción de la quínoa en la región Andina (1983-2011). Fuente: FAOSTAT 2013.

1 <http://www.fao.org/quinoa-2013/es/>
 2 <http://www.fao.org/quinoa/es/>

mucho en función del mercado de destino, de la calidad del producto, y de si es o no orgánica, entre otros factores. El valor FOB se sitúa actualmente entre los \$3.000 y los \$3.500 USD por tonelada. Sin embargo, desde 2008 el valor por tonelada se ha incrementado.

Respecto a los principales países importadores de quínoa, éstos son Estados Unidos con una demanda de 53%, Canadá con el 15% y Francia con el 8% del volumen de importación global, tal como se detalla en la Figura 2. En Sudamérica los principales importadores son Brasil con 578 toneladas (2% del total) y Argentina con 249 toneladas.

ESTIMACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL DE QUÍNOA EN CHILE

En Chile se estima una producción de 1.020 toneladas anuales, que son cultivadas en una superficie aproximada de 1.700 hectáreas, con un rendimiento promedio de 0,6 t/ha. La principal región productora es la de Tarapacá, con el 95% de la producción nacional en 2012. Al igual que en los otros países, gran parte de la producción es realizada por productores individuales o pequeños, y para comercio nacional y exportación ocasional.

En relación a los datos de importación y exportación, Chile importó 225 toneladas de quínoa en 2012, principalmente de Bolivia y Perú.¹ Cabe señalar que desde 2008 que no se pasaba de las 60 toneladas anuales, lo cual muestra un importante aumento del consumo interno.

En 2007 Chile llegó a exportar 47,5 toneladas a Canadá; sin embargo, las exportaciones disminuyeron drásticamente y en números oficiales no pasaron de las 7,54 toneladas hasta noviembre de 2013⁴. El valor FOB de la exportación de quínoa en Chile es bastante

Principales importadores mundiales de quínoa

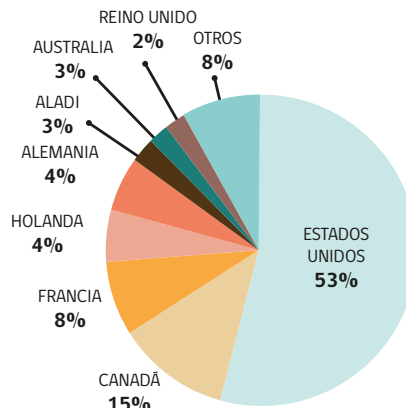


Figura 2. Principales países importadores de quínoa el 2012. Fuente: Comtrade y ALADI.

mayor que el promedio global con un valor de US\$6.900 por tonelada de quínoa, mientras que en los otros países el valor fluctúa entre US\$3.300 y US\$3.600 por tonelada. Además, en Chile los precios al productor varían entre \$ 400 y \$1.500 por kilo para la quínoa bruta, sin procesamiento, dependiendo de la zona. Los precios más altos se obtienen en la zona norte donde la quínoa bruta se transa aproximadamente a \$ 1.500 por kilo.

En relación a la cadena productiva y de comercialización de la quínoa, ésta es incipiente y compleja por la alta intermediación del producto y el gran nivel de informalidad, lo que hace que el producto llegue al consumidor final a un precio muy elevado, más aún al considerar los costos de producción (ver artículo sobre costos de producción y rentabilidad en este mismo número). El mercado es atomizado dado que, como se señaló previamente, su cultivo es producido casi en su totalidad por productores campesinos individuales y de pequeña escala, lo que genera una gran dispersión, llevando a **quintuplicar los precios**

que llegan al público consumidor final, situación que se ha producido fundamentalmente en los últimos 5 años. Este factor también afecta el consumo de este alimento, lo que genera un freno para alcanzar economías de escala y optimizar la producción.

La multiplicidad de actores de la cadena de comercialización se vincula justamente al hecho de que son necesarios diversos pasos antes de colocar el producto en los mercados, y en todos ellos se abre la posibilidad de intermediación. Esas son etapas básicas del proceso al cual es sometido el grano una vez efectuada la cosecha, antes de llegar a su destino final, sea para el consumo directo o para ser incorporado a la cadena de producción agroindustrial, para la producción de algún bien derivado de la quínoa, como barras de cereal, galletas y fideos, entre otros.

En términos del mercado potencial de la quínoa, este crece año a año, lo que queda de manifiesto en la gran cantidad de empresas que hoy se acercan a conseguir grano procesado a las principales zonas productoras de la zona central,



en las comunas de Paredones y Pichilemu, donde actualmente se concentra un número importante de productores y empresas privadas que están desarrollando el cultivo y trabajando para darle mayor valor agregado.

En Chile, sin embargo, el desconocimiento social del cultivo es tal que ha llevado casi a su desaparición, porque la mayoría de los agricultores (y también los profesionales del agro) han perdido la tradición de su manejo (y de enseñar sobre él). Esto ha derivado en una pérdida importante de su aceptación culinaria. Esta pérdida es recuperable con mayor probabilidad de éxito si la ciencia colabora en todos los ámbitos posibles: la fisiología de resistencia al estrés, su potencial agronómico, alimentario y funcional, como se reconoce en éste y otros artículos de revista Tierra Adentro.

Para mencionar otras posibilidades del potencial de mercados de la quínoa en Chile, se puede

mencionar por ejemplo que hay dos millones de niños y jóvenes que almuerzan cada día, alimentados por el Estado chileno a través de la Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas (JUNAEB) y donde la quínoa podría tener un rol relevante. Lo mismo podemos imaginar en muchas cocinas industriales de hospitales (para funcionarios y pacientes). Por ejemplo, es posible que las madres en lactancia puedan verse beneficiadas de las isoflavonas presentes en la quínoa para aumentar su calidad y/o cantidad de leche materna. Por otra parte están los casinos en regimientos, la alimentación de los deportistas de alto rendimiento, los restaurantes de hoteles y de empresas. Por ejemplo, sólo la empresa de casinos institucionales SODEXHO alimenta a más de un millón de personas al día. Los mercados potenciales a conquistar en Chile son muy importantes, y necesarios, mucho antes siquiera de pensar en su potencial de exportación.

Con todo, el nivel de desarrollo del cultivo aún es incipiente, ya que hay muchos temas de manejo por desarrollar, que requieren de la iniciativa pública y privada, y del apoyo del gobierno para poder llegar a buen término. Dentro de los temas que hay que desarrollar, y que son prioritarios, está el poder obtener al menos una variedad de semilla mejorada propia para cada macrozona donde actualmente se cultiva, para así poder competir en igualdad de condiciones frente a las variedades de los países más desarrollados en el cultivo como Bolivia, Perú y Ecuador. Esto implica obtener una semilla de un tamaño, color, consistencia, sabor y contenido de saponinas que permita realizar un buen proceso de selección y limpieza, permitiendo con ello llegar al consumidor final con un producto que sea valorado por el cliente.

Otro tema importante para el mercado, es poder darle uso a la saponina de quínoa, sub-producto

3 <http://www.fao.org/docrep/019/i3583s/i3583s.pdf>

4 ODEPA con datos del Servicio Nacional de Aduanas. http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1388776534Quinoa.pdf

resultante del proceso de limpieza y descascarado de la quínoa, el cual es tóxico en altas concentraciones y es eliminado en lugares no habilitados para ello, con el riesgo potencial para la flora y fauna existente. Esta saponina puede llegar a ser muy útil para uso como detergente, fungicida, en la industria cosmética y otras diversas aplicaciones, incluso biomédicas, pero se necesita realizar investigación aplicada e invertir importantes recursos en desarrollar alternativas a este bioproducto.

Paralelamente, y en la búsqueda de agregación de valor, existe otra iniciativa que es desarrollada por privados y que pretende darle uso a la hoja de la quínoa para alimentación humana, la cual presenta características igualmente atractivas como las del grano de quínoa, con la finalidad de buscar una alternativa más de uso de la planta, permitiendo con ello rentabilizar la producción a nivel primario y darle un mayor acceso al consumidor final, asociado todo esto a una cultura de alimentación más saludable.

CONCLUSIONES

Como conclusión general, se puede inferir que el mercado de la quínoa, tomando como base los productores, procesadores, industria y el consumidor final, se encuentra en una posición inmejorable para desarrollar a nivel industrial y de manera competitiva este cultivo, debido a múltiples factores que han posicionado la quínoa como un súper alimento, utilizado por importantes chefs a nivel nacional e internacional y recomendado comúnmente por médicos y nutricionistas como alternativa para una dieta rica en proteínas y fibra, factores que han abierto la posibilidad que los agricultores estén motivados a realizar una producción de mayor volumen, calidad



superior y con el compromiso de trabajar de manera conjunta con el resto de actores vinculados a la cadena productiva.

Si bien es cierto, existen importantes brechas por reducir, las condiciones de mercado tales como precio, superficies de siembra, manejos, iniciativas de agregación de valor y apoyo del Estado, están dadas para lograr darle formalidad y desarrollo al cultivo.

Con todo lo anterior, considerando el crecimiento en la

demanda, tomando en cuenta que la FAO declaró el año 2014 como el año mundial de la agricultura familiar, se vislumbra un escenario bastante promisorio para el cultivo, y se espera en el mediano plazo (2014-2017) darle el impulso que necesita, y resguardar el producto nacional y la economía de las familias de la agricultura familiar que dedican parte importante de su tiempo a la producción de este grano denominado como el "Grano de Oro". 🌱

REFERENCIAS



Artículo: Quínoa: un cultivo aliado en la erradicación del hambre
Autor: Salomón Salcedo
Páginas: 10-13

Referencias del autor:

FAO. (2012). FAOSTAT. Retrieved May 2013, from <http://faostat.fao.org/>
 FAO. (2013). The State of Food and Agriculture 2013 – Food Systems for Better Nutrition. Rome.
 Salcedo, S. (2013, July). F@armletter. Retrieved from World Farmers Organization: http://www.wfo-oma.org/media/k2/attachments/WFO_Farmletter_07_2013.pdf



Artículo: El origen de la quínoa y la historia de su domesticación
Autor: Ángel Mujica
Páginas: 14-17

Referencias del autor:

Heiser, C.B. y Nelson, D.C. 1974. On the origin of the cultivated Chenopods (*Chenopodium*). Genetic 78:503-505. [int/doc/legal/cbd-es](http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es)



Artículo: Dinámica de la expansión mundial de la quínoa
Autor: Didier Bazile
Páginas: 18-21

Referencias del autor:

Bazile D. *et al.* (Editores), 2014. “Estado del arte de la quínoa en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 710p.
 Bhargava Atul, Shukla Sudhir & Ohri Deepak (2006). *Chenopodium quinoa* -An Indian perspective. Industrial Crops and Products 23: 73–87.
 CDB (1992) Convenio sobre Diversidad Biológica. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
 Jacobsen Sven-Erik (2003): The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Food Reviews International, 19 (1-2): 167-177
 Jellen R. and Maughan J., 2013. Quinoa phylogenetic insights based on nuclear and Chloroplast, International Quinoa Research Symposium.
 López-García R. 2007. Quinoa: A traditional Andean crop with new horizons. Cereal Foods World, 52, 88-90.
 National Research Council (NRC), (1989). Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation.
 Risi J. & Galway N. W. 1991. Genotype X Environment Interaction in the Andean grain crop quinoa (*C. quinoa*) in temperate environments. Plant Breeding, 107: 141-147.
 Schlick, G., and D. L. Bubenheim. 1996. Quinoa: Candidate crop for NASA’s Controlled Ecological Life Support Systems. In: Janick, J., Eds. Progress in New Crops, ASHS Press: Arlington, USA, pp. 632?640.



Artículo: El aporte de la comunidades indígenas y locales en la conservación de la quínoa
Autores: Didier Bazile, Max Thomet
Páginas: 22-27

Referencias del autor:

Bazile D., Chia E., Hocdé H., Negrete Sepulveda J., Thomet M., Nuñez L., Martínez E.A. 2012. Quinoa heritage an important resource for tourism experience. Revista geográfica de Valparaíso (46): 3-15.
 Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martínez E.A. 2012. Implications of farmers’ seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in

Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6): 702-716.

Louafi S., Bazile D., Noyer J.L. 2013. Conserver et cultiver la diversité génétique agricole : aller au-delà des clivages établis. In: Hainzelin E. (Ed.). *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*. Versailles: Ed. Quae, p. 185-222.

Thomet M., Bazile D. 2013. The role of "curadoras" in the conservation of quinoa varieties in the Mapuche communities in southern Chile. In: Coudel E. (ed.), Devautour H. (ed.), Soulard C. (ed.), Faure G. (ed.), Hubert Bernard (ed.). *Renewing innovation systems in agriculture and food: How to go towards more sustainability?* Wageningen Academic Publishers, p. 174-175.



Artículo: INIA: hacia la conformación de una Colección Nacional de Quínoa

Autores: Pedro León-Lobos, Ana Sandoval, Enrique Veas, Hernán Cortés.
Páginas: 28-33

Referencias del autor:

Bioersity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA (2013). *Descriptor para quínoa (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*. Bioersity International, Roma, Italia; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia.
Rojas W, M. Pinto, C. Alanoca, L. Gómez-Pando, P. León-Lobos, A. Alercia, S. Diulgheroff, S. Padulosi y D. Bazile. (2014). Estado de la conservación *ex situ* de los recursos genéticos de quínoa Capítulo. 1.5. BAZILE D. *et al.* (Editores), 2014. Estado del arte de la quínoa en el mundo en 2013: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), páginas 65-94.



Artículo: Diversidad genética de la quínoa en Chile

Autores: Francisco Fuentes, Didier Bazile, Enrique Martínez
Páginas: 34-37

Referencias del autor:

Bazile D., Fuentes F. and Mujica A. 2013. Historical perspectives and domestication of quinoa. In: *Quinoa: Botany, Production & Uses*. A. Bhargava, S. Srivastava (ed). CABI Publisher, Wallingford, UK. ISBN: 9781780642260.
Fuentes F., Bazile D., Bhargava A. and Martínez E. A. 2012. Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *The Journal of Agricultural Science* 150(6): 702-716.
Fuentes F., Martínez, E. A., Hinrichsen, P. V., Jellen, E. N., & Maughan, P. J. 2009. Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics* 10(2): 369-377.



Artículo: Programa de Mejoramiento Genético de Quínoa: la nueva apuesta de INIA

Autor: Christian Alfaro. *Colaboraron en este artículo los investigadores:* Andrés Zurita-Silva, Dalma Castillo, Pedro León-Lobos, Ivette Seguel, Jorge Díaz, Kurt Ruf, Manuel Pinto, Iván Matus.
Páginas: 38-41

Referencias del autor:

Bonifacio A., L. Gómez-Pando, y W. Rojas (2014) *Mejoramiento Genético de la Quínoa y el Desarrollo de Variedades Modernas*. Capítulo 2.5. En: 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. 203-226.

Bazile D., D. Bertero y C. Nieto (Eds., 2014). "Estado del arte de la quínoa en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD (Montpellier, Francia). 724 pp., (disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4042s/index.html>).
Fuentes, F., P. J. Maughan; E. R. Jellen (2009) *Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quínoa, (Chenopodium quinoa Willd.)*. *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 42, p. 20-33.
Mellado M. 2014. *Nociones básicas sobre genética y mejoramiento vegetal y animal. Revisión de antecedentes*. Colección de libros INIA N°29, 292 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INIA Quilamapu.
Von Baer I., D. Bazile y E. Martínez (2009). Cuarenta años de mejoramiento de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en La Araucanía: Origen de La Regalona-B. *Revista Geográfica de Valparaíso* 42: 34-44.
Palomino G., L. T. Hernández, E. D. Torres (2008). Nuclear Genome size and chromosome analysis in *Chenopodium quinoa* and *C. berlandieri* sub sp nuttalliae. *Euphytica* 164:221-230.
Zurita-Silva A., F. Fuentes, P. Zamora, S-E. Jacobsen and A. R. Schwember (2014). *Breeding quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): potential and perspectives*. *Molecular Breeding* 34:13-30.



Artículo: Sequía, frío y salinidad: respuesta de la quínoa al desafío ambiental

Autores: Andrés Zurita-Silva, Karina Ruiz
Páginas: 42-47

Referencias del autor:

Álvarez-Flores R. A. (2012). *Réponses morphologiques et architecturales du système racinaire au déficit hydrique chez des Chenopodium cultivés et sauvages d'Amérique andine*. Tesis de Doctorado. Université Montpellier 2, Montpellier, Francia. 114 p.
Biondi S, K. B. Ruiz, E. A. Martínez, A. Zurita-Silva, F. Orsini, F. Antognoni, G. Dinelli, I. Marotti, G. Gianquinto, S. Maldonado, H. Burrieza, D. Bazile, VI Adolf, S-E Jacobsen. *Tolerancia a condiciones salinas*. Capítulo 2.3. En: 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. 167-184.
Jacobsen S., Monteros C. Christiansen J., Bravo L., Corcuera L., & Mujica A. (2005).

Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, 22 (2), 131–139.

Ruiz-Carrasco K.B., F. Antognoni, A.K. Coulbaly, S. Lizardi, A. Covarrubias, E.A. Martínez, M.A. Molina-Montenegro, S. Biondi y A. Zurita-Silva (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 1333-1341.

Zurita-Silva A., Jacobsen S-E, Razzaghi F., Álvarez-Flores R., Ruiz K.B., Morales A., Silva H. (2014). Respuestas a la sequía y adaptación de la Quinoa. Capítulo 2.4. En: BAZILE D. *et al.* (Editores), “Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 185-202.

Zurita-Silva A., F. Fuentes, P. Zamora, S-E Jacobsen, A.R. Schwember (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding* 34:13-30.



Artículo: Procesamiento y manejo de post-cosecha del grano de quinoa
Autores: Enrique Veas, Hernán Cortes, Pablo Jara
Páginas: 52-55

Referencias del autor:
 FAO. 2001. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. 350 p.



Artículo: Diversidad de los cultivos de quinoa en Chile
Autores: Didier Bazile, Eduardo Chia, Pablo Olguín
Páginas: 56-61

Referencias del autor:

Bazile D. (ed.), Negrete Sepúlveda J. (ed.). 2009. Quinoa y biodiversidad: ¿cuáles son los desafíos regionales? *Revista Geográfica de Valparaíso* (42): 1-141.

Bazile D., Chia E., Hocdé H. 2012. Le détournement d’instruments de politiques publiques de développement rural au Chili au bénéfice de la production du Quinoa. *Reflats et perspectives de la vie économique* (Tome LI) : 35-56. <http://dx.doi.org/10.3917/rpve.512.0035>.

Bazile D., Martínez E.A., Hocdé H., Chia E. 2012. Primer encuentro nacional de productores de quinoa de Chile: Una experiencia participativa del proyecto internacional IMAS a través de una prospectiva por escenarios usando una metodología de “juego de roles”. *Tierra Adentro* (Chile) (97): 48-54.

Chia E., Hocdé H., Alfonso D., Bazile D., Núñez L., Martínez E. A. 2009. Gouvernance de la biodiversité du quinoa au Chili. Entre logique de marché et logique domestique. In: *Colloque International Localiser les produits: une voie durable au service de la diversité naturelle et culturelle de Sud?*, 9-11 juin 2009, Paris, France. 10 p. http://www.mnhn.fr/colloque/localiserlesproduits/11_Paper_CHIA_E.pdf

Olguín P., 2011. Dinámicas espaciales de los sistemas de producción de quinoa en la región del Libertador Bernardo O’Higgins de Chile, con relación a los factores económicos y del medio ambiente. Memoria para optar al título de geógrafo. PUCV, mayo 2011.



Artículo: ¿Es rentable la producción de quinoa en Chile? Un análisis desde los costos de producción
Autores: Enrique Martínez, Iván Donoso, Eduardo Chia
Páginas: 68-73

Referencias del autor:
 Alfonso-Bécares D., Bazile D. (2009). La quinoa como parte de los sistemas agrícolas en Chile: 3 regiones y 3 sistemas. *Revista Geográfica de Valparaíso* 42:61-72.

Proyecto Innova CORFO 04CR9PAD04. “Cultivo doble propósito de *Chenopodium quinoa* (quinoa) para la región de Coquimbo: modelo de grano para consumo humano y

follaje para ganado caprino” (2005-2008).

Brossier J., Chia E., Marshall E., Petit M. (1998). Gestion de l’exploitation agricole familiale Éléments théoriques et méthodologiques. *Économie rurale* 244 :59-60.

Martínez E.A., Veas E., Jorquera C., San Martín R., Jara P. (2009) Re-introduction of *Chenopodium quinoa* Willd. into arid Chile: cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195:1-10.

Martínez, E.A., Jorquera-Jaramillo C., Veas E., Chia E. (2009). El futuro de la quinoa en la región árida de Coquimbo: lecciones y escenarios a partir de una investigación sobre su biodiversidad en Chile para la acción con agricultores locales. *Revista Geográfica de Valparaíso* 42:95-111.


Martínez E.A., Olguín P. (2013). Transparency from production to consumption: new challenges for the quinoa market chain. En: *Quinoa: Botany, Production and Uses* (A. Bhargava, Ed.) CABI Publishing, CAB International. Oxfordshire, UK. Pp.234-239.



Artículo: Mercado real y potencial de la quinoa en Chile
Autores: Rodrigo Pizarro, Enrique Martínez
Páginas: 74-78

Referencias del autor:
 Alfonso-Bécares D., Bazile D. (2009) La Quinoa como parte de los sistemas agrícolas en Chile: 3 regiones y 3 sistemas. *Revista Geográfica de Valparaíso* 42:61-72.

Bazile D., Baudron F. (2014). Dinámica de su expansión mundial del cultivo de la quinoa respecto a su alta biodiversidad. Capítulo Número 1.4. En: Bazile D. *et al.* (Editores), “Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD (Montpellier, Francia): pp. 49-64.

Vega-Gálvez A., Miranda M., Vergara J., Uribe E., Puente L., Martínez E.A. (2010) Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2541-2547. 

GLOSARIO

Accesión: Se denomina así a la muestra viva de una planta o población mantenida en un banco de germoplasma para su conservación y/o uso. Una especie puede estar representada por varias accesiones que se diferencian por la población a la que pertenecen y/o por la temporada de colecta.

Agricultura Orgánica: Modo de producción agrícola que no usa agrotóxicos de síntesis química artificial (pesticidas, herbicidas) dañinos al medio ambiente o al ser humano.

Alelo: Una, dos o más formas alternas de un gen que ocupan el mismo locus en un cromosoma.

Aminoácidos esenciales: Aquellas partes de las proteínas que el ser humano no puede fabricar a partir de otros alimentos y debe ingerirlas obligatoriamente en su dieta. Son ocho en total.

Amortización: Reducción de una deuda, producida por la compra de un bien de capital, mediante el pago mensual de cuotas.

Andro-esterilidad: Incapacidad de las plantas para producir anteras, polen o gametos masculinos funcionales.

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

Autopolinización: Transporte del polen de la antera al estigma de la misma flor o flores del mismo individuo.

Biodiversidad agrícola o agro-biodiversidad: Considera todos los grupos vegetales y animales en agricultura, como sus parientes silvestres, especies de origen y especies que interactúan con ellas, como son los polinizadores, plagas, predadores, y toda la gama de medios donde se desarrolla la agricultura, y no sólo los espacios con tierras arables y parcelas cultivadas. Así, ella contiene toda la variedad y la variabilidad de los seres vivos que contri-

buyen a los alimentos y a la agricultura en general. La agro-biodiversidad incluye los genes, las poblaciones, las especies, las comunidades, los ecosistemas, y los componentes del paisaje, pero también las interacciones humanas con ellos; incluyendo hábitats y especies que están fuera de los sistemas agrícolas y que van a beneficiar a la actividad agrícola y mejorar las funciones del ecosistema cultivado.

Cañihua (Del Qechua): Harina tostada de cañihua.

Caracterización: El registro de caracteres altamente heredables que pueden ser fácilmente observados y expresados en todos los ambientes.

Chaquitaklla (Del Qechua): Herramienta manual para labranza del suelo.

Compuestos fenólicos: Son compuestos orgánicos de tipo secundario del metabolismo vegetal, y múltiples roles tales como productos de defensa ante herbívoros y patógenos, atraen polinizadores o dispersores de frutos, algunos absorben la radiación ultravioleta, o actúan como agentes alelopáticos.

Conductividad eléctrica (EC): la salinidad del suelo es medida por su conductividad eléctrica (electrical conductivity). La unidad estándar de medida de EC es deciSiemen/metro (dS/m).

Cosmopolita: En biogeografía, el término cosmopolita se aplica a especies que se encuentran distribuidas en todo el mundo, a manera general, pero que requieren de condiciones locales que les son comunes para las áreas en donde ocurren tales especies.

Defoliación: Caída de las hojas de las plantas.

Desaponificado: Eliminación mecánica de la cáscara de la semilla de quínoa, que contiene un producto jabonoso al contacto con el agua y amargo.

Diversidad genética: Toda la variabilidad hereditaria que existe dentro o entre poblaciones o especies, que se origina, favorece o mantiene por fuerzas evolutivas. Corresponde a toda la diversidad de alelos dentro de genes y genes como tal.

Domesticación: Conjunto de actividades dirigidas a incorporar una planta silvestre al acervo de plantas para el uso y consumo humano. Incluye el sistema de reproducción de la especie, los sistemas de cruzamiento y el manejo agrícola, y que pueden culminar con la especie domesticada dependiendo enteramente del ser humano para su propagación y perdiendo la capacidad de sobrevivir en la naturaleza.

Economías de escala: Reducción de costos de insumos (expresados en precios por kilo o por litro), por aumento de los volúmenes de compra de los mismos insumos, ligados a mayores niveles de producción.

Ecotipo: Población o raza local de una especie que presenta características botánicas distintivas, las cuales surgen de la interacción entre el genotipo y las características ecológicas del ambiente local.

Escarificación: Remoción de la cubierta externa de la semilla por efecto abrasivo.

Especies reactivas de oxígeno (ROS, Reactive Oxygen Species): son moléculas altamente reactivas, y se forman de manera natural como subproducto del metabolismo, con roles en la señalización celular e incluyen iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos. En estrés sus niveles pueden aumentar, resultando en daños significativos a las estructuras celulares (estrés oxidativo).

Estomas: son grupos de dos o más células epidérmicas, cuya función es regular el intercambio gaseoso y la transpiración en las hojas de la planta. Comunican el ambiente gaseoso del interior de

la planta con el del exterior, y pueden abrirse o cerrarse según las condiciones de la planta.

Fenotipo: Características observables de un individuo, resultantes de la expresión del genotipo en función de un determinado ambiente en que se desarrolla.

Fotosíntesis: Proceso que realizan plantas y otros organismos, de conversión de materia inorgánica (CO₂, H₂O) en materia orgánica (carbohidratos) gracias a la energía que aporta la luz.

Género: Categoría que reúne a especies afines, con características y origen común.

Genotipo: Constitución genética, latente o expresada de un organismo. Representa la suma de todos los genes presentes en un individuo.

Germoplasma: Conjunto de genes que se transmite a la descendencia. Constituye un patrimonio genético estratégico para generar nuevos productos.

Glucósidos: Compuestos que poseen algunas plantas y son nocivos para la salud.

Gluten: Conjunto de proteínas presentes en las harinas de los cereales.

Hibridación: Cruzamiento de dos individuos de la misma especie, o variedad genotípicamente desiguales.

Marcador molecular: Secuencias de ADN que marcan posiciones específicas en el genoma y que pueden determinar, según su naturaleza, la expresión de proteínas, caracteres morfológicos o segmentos específicos de ADN.

Metapoblación: Conjunto de poblaciones discretas de una misma especie, separadas espacialmente y vinculadas por un cierto grado de migración y, sujetas a procesos de extinción y colonización.

Panoja: Conjunto de flores, simples o

compuestas, con un eje más o menos alargado, que lleva ramificaciones donde se insertan las flores pediceladas.

Pedicelo: Es el tallo que sostiene un sola flor y que la une a la planta.

Polinización Cruzada: Transporte de polen de la antera de un individuo al estigma de la flor de otro individuo de una misma especie de planta.

Postcosecha: Intervalo entre la cosecha y el consumo del cultivo. Se realizan procesos dirigidos a mantener la calidad del producto agrícola, incluyendo su procesamiento, manejo, almacenamiento, conservación, empaque y transporte. Como su nombre lo indica, posteriormente al periodo de cosecha.

Recursos genéticos: Todas las plantas, animales o microorganismos de valor de uso real o potencial para el ser humano.

Regeneración: Cultivo de accesiones de semillas con el fin de refrescar la muestra, para así obtener semillas en gran cantidad y alta calidad.

Revolución verde: Proceso de modernización de las prácticas agrícolas iniciado en la década del '40 en México. Fue impulsado por el Dr. Norman E. Borlaug, científico estadounidense, preocupado por las recurrentes hambrunas y falta de alimentos en los países subdesarrollados. Dado su éxito en incrementar la producción agrícola, las tecnologías desarrolladas en la Revolución Verde se ampliaron a escala mundial, principalmente en la década de los 50 y 60, asociándose con el aumento de la mecanización y del uso de químicos. Resultando un incremento significativo en rendimiento y cantidad de calorías por hectárea cultivada.

Saponina: Grupo de glucósidos triterpenoides solubles en agua. Poseen la capacidad de bajar la tensión superficial generando espuma abundante.

Sistemas de producción agrícola: Se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas y pecuarios. Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por el medio rural externo, incluyendo mercado, infraestructura y programas, por lo que facilitan la evaluación ex ante de inversiones y políticas concernientes con la población rural

Tetraploide: Presencia de cuatro juegos de cromosomas en el núcleo.


Tocoferol: Compuesto orgánico conocido como Vitamina E, del cual el gamma-tocoferol es una de las formas más comunes en los alimentos. Los tocoferoles tienen propiedades antioxidantes.

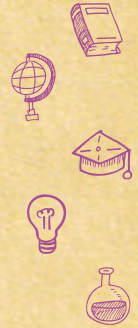
Vacuola: Son compartimentos que se encuentran en las células vegetales, rodeadas de una membrana (tonoplasto o membrana vacuolar) y llenas de jugo celular.

Valor FOB: Valor del producto exportado puesto a bordo del medio de embarque (del inglés: Freight On Board, cargado a bordo).

Variabilidad genética: Variación en el material genético de una población o especie, y muy necesaria para realizar mejoramiento genético de un cultivo.

Varietal tradicional (landraces en inglés): Población dinámica de una planta cultivada, con origen histórico, características distintivas, y que no es producto de un proceso formal de mejoramiento genético, siendo normalmente genéticamente diversa, localmente adaptada y está asociada a un sistema tradicional de cultivo.

Xilema: Tejido leñoso de plantas que conduce agua y sales inorgánicas en forma ascendente por toda la planta y proporciona soporte mecánico. 



AGENDA RURAL

Una iniciativa del Ministerio de Agricultura

- Efemérides
- Política agraria
- Agricultura hoy
- Fiestas y tradición
- Pueblos originarios
- Frases sabias y humor
- ¿Sabías qué?
- Cocina chilena
- Artesanías y oficios
- Naturaleza y vida
- Letras de Chile
- Santoral
- Ferriados
- Toponimia

Agenda Rural es un nuevo sitio web del **Ministerio de Agricultura** dedicado a conocer y compartir las fiestas tradicionales, el humor y la sabiduría popular, fechas importantes para el país, sabrosas recetas de cocina criolla, ritos de los pueblos originarios, las bondades de la agricultura familiar y muchos otros temas que demuestran la **riqueza del mundo agrario y el campo chileno**.

¡Visítanos diariamente y participa!
www.agendarural.cl



Ministerio de Agricultura

Gobierno de Chile