



# Capítulo 1

## CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA DE QUÍNOA DEL SUR DE CHILE

---

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

## 1.1 Recursos Fitogenéticos y Bancos de Germoplasma

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

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

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

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

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

## 1.2 Recurso Genético de Quínoa

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

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

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

**Cuadro 1.** Clasificación de la diversidad de ecotipos de quínoa

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 1.3.1 Altura de planta

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



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

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

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

### 1.3.2 Tallo

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

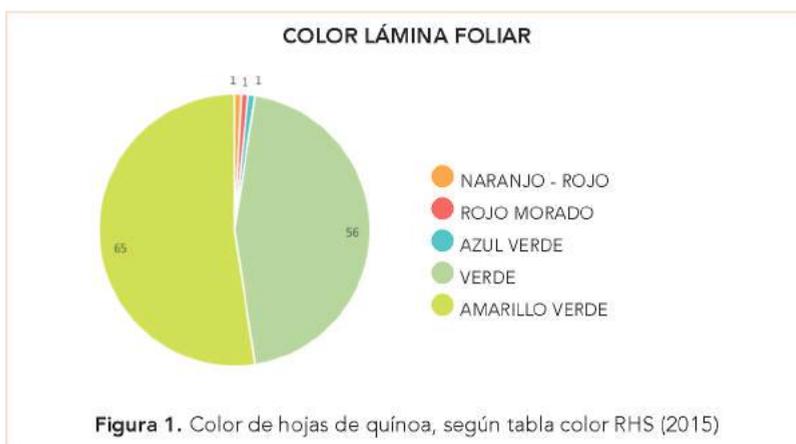
### 1.3.3 Hoja

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

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

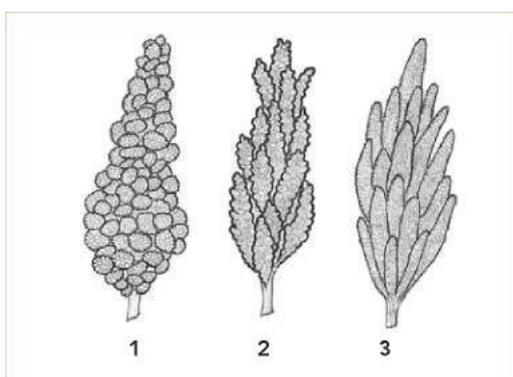


**Foto 2.** Evaluación de tallos en quínoa.  
Fuente: Arturo Morales M. (INIA Carillanca)



### 1.3.4 Inflorescencia

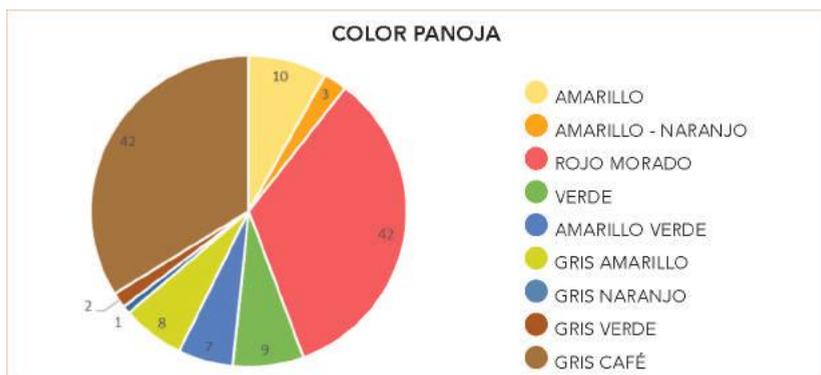
La inflorescencia de la quínoa es una panoja de longitud variable, cuenta con un eje principal del cual se originan ejes secundarios y terciarios (Risi y Galwey, 1984). Los genotipos caracterizados presentaron una longitud de panoja que va desde los 16,2 hasta los 54,8 cm, con un promedio de 32,4 cm.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



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

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

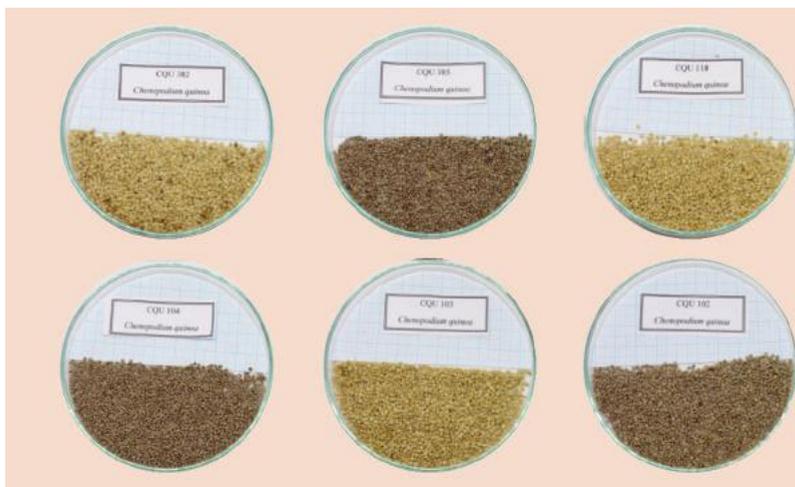
Según Rojas (2007), en relación con el color de la panoja, éstos varían según el estado fenológico. Al inicio del desarrollo de la panícula se expresan principalmente cuatro colores: verde, morado, rojo y una mezcla de colores verde-morado. Sin embargo, una vez alcanzada la madurez de la inflorescencia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



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

### 1.3.5 Semilla

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



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

### 1.3.6 Fenología

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



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

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

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

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

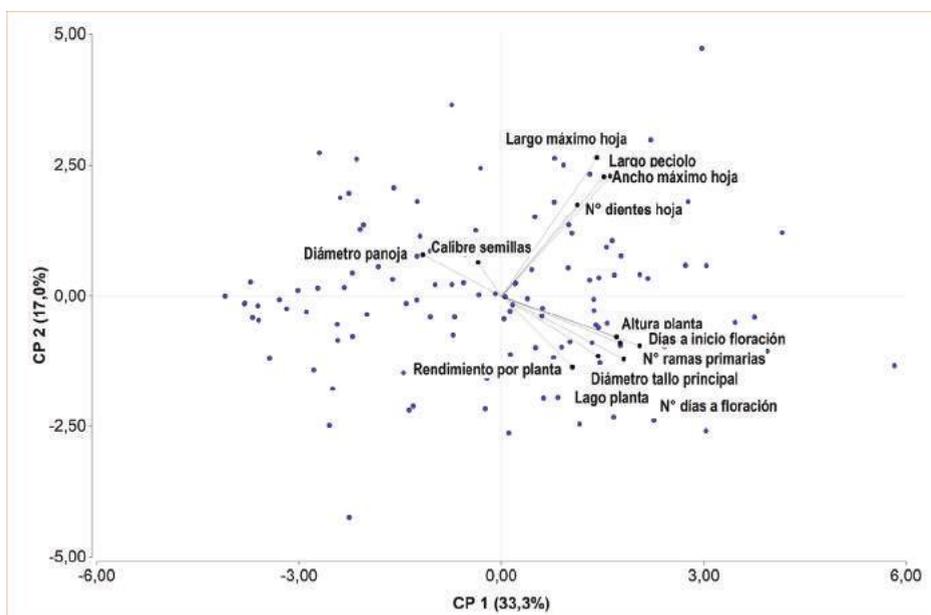
La alta variabilidad dentro de la colección fue confirmada por los altos coeficientes de variación (CV) en la mayoría de los descriptores. Los mayores niveles de variabilidad fueron encontrados en diámetro de panoja (CV= 81.3%); color tallo principal (CV= 69.8%) y color de hojas (CV= 45,7%). Por otro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

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

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

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

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



**Figura 4.** Análisis de componentes principales en genotipos estudiados

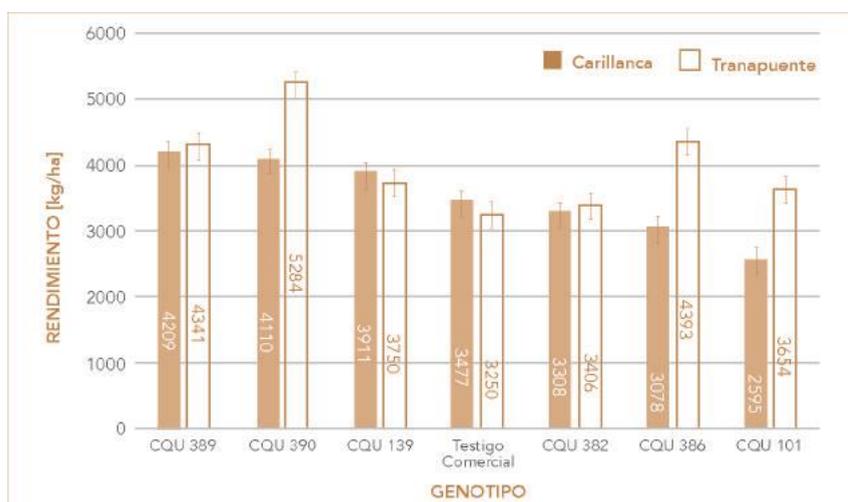
## 1.5 Selección de genotipos superiores

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



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

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



**Figura 5.** Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de semilla en genotipos seleccionados en dos localidades de la Región de La Araucanía, INIA Carillanca y Tranapunte

## 1.6 Conclusiones

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

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

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

## Referencias Bibliográficas

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

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