



ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE CUADROS.....	5
ÍNDICE DE IMÁGENES	6
INFORME TÉCNICO FINAL.....	7
EQUIPO DE TRABAJO	7
RESUMEN EJECUTIVO DEL PROGRAMA.....	8
ESTADO DEL ARTE.....	9
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	11
General.....	11
Específicos.....	11
Estratégicos.....	11
PROTOCOLO GENERAL TRABAJO DE CAMPO	12
Implementación de Unidades de Validación.....	12
Manejos agronómicos y determinaciones en el cultivo.....	12
CAPÍTULO 1. ENSAYOS PARA DETERMINAR ÉPOCA DE SIEMBRA.....	13
1.1. Descripción de los Tratamientos y Evaluaciones.	13
1.2. Resultados Época de Siembra.....	15
CAPÍTULO 2. ENSAYOS FACTORIALES DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN.....	21
2.1. Diseño Experimental.....	21
2.2. Descripción de los Tratamientos.	22
2.3. Recolección de la muestras.	22
2.3.1. Preparación de muestras.....	24
2.4. Metodología de cosecha.....	24
2.5. Resultados Obtenidos.....	26
2.5.1. Efecto de los tratamientos de fertilización, riego y genotipo sobre el rendimiento en Vallenar.....	26
2.5.2. Efecto de los tratamientos de fertilización, riego y genotipo sobre el rendimiento en Mallorquina, valle de Copiapó.....	29
2.5.3. Efecto de los tratamientos sobre el nivel de nutrientes en la planta.....	32



2.5.4. Eficiencia Uso del N (NUE).....	39
2.5.5. Análisis de expresión en genes de interés.	41
CAPÍTULO 3. ENSAYO DE JARDÍN DE GENOTIPOS.....	48
3.1. Resultados Jardín de Genotipos.	51
3.1.1. Estados fenológicos.	51
3.1.2. Altura de Plantas.	53
3.1.3. Rendimientos.	54
CAPÍTULO 4. Composición Nutricional y Funcional.	57
4.1. Análisis Proximales en Quínoa.	57
4.2. Determinación de Perfil de ácidos grasos.	58
4.3. Determinación de Polifenoles Totales.	58
4.4. Capacidad Antioxidante.....	58
4.5. Proteínas.	63
4.6. Perfil de Aminoácidos.	64
4.7. Grasas.	66
4.8. Carbohidratos.....	74
4.9. Fibra Cruda.	74
4.10. Contenidos Minerales en Quínoa.	75
CAPÍTULO 5. COMPUESTOS FUNCIONALES.....	78
5.1. Contenido de Polifenoles totales.	78
5.2. Capacidad Antioxidante.....	79
CAPÍTULO 6. ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN DEL PROYECTO.	80
6.1. Informativos y/o divulgativos.....	81
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	82



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución espacial de los ensayos de época de siembra en Vallenar.	13
Figura 2. Rendimiento de grano por época de siembra (promedio por hectárea), en quínoa cultivada en Vallenar.	16
Figura 3. Rendimiento de tres genotipos de quínoa por cada época de siembra en Vallenar.	17
Figura 4. Duración etapas fenológicas según Época de siembra.	19
Figura 5. Distribución espacial ensayo Factorial de riego y fertilización en dos localidades.	21
Figura 6. Rendimiento del genotipo AZ 2 según tratamiento de riego.	27
Figura 7. Rendimiento del genotipo AZ 39 según tratamiento de riego.	28
Figura 8. Rendimiento del genotipo AZ 67 según tratamiento de riego.	28
Figura 9. Rendimiento del genotipo AZ 12 según tratamiento de riego.	30
Figura 10. Rendimiento del genotipo AZ 36 según tratamiento de riego.	31
Figura 11. Rendimiento del genotipo AZ 30 según tratamiento de riego.	31
Figura 12. Contenido foliar de K según tratamiento de riego.	33
Figura 13. Contenido foliar de Ca según tratamiento de riego.	33
Figura 14. Contenido foliar de Mg según tratamiento de riego.	34
Figura 15. Contenido foliar de Mn y Cu según tratamiento de riego.	34
Figura 16. Contenido foliar de P según tratamiento de riego.	35
Figura 17. Contenido de N en la panoja según tratamiento de riego.	36
Figura 18. Contenido de K en la panoja según tratamiento de riego.	36
Figura 19. Contenido de Cu en la panoja según tratamiento de riego.	37
Figura 20. Contenido de P en la panoja según tratamiento de riego.	37
Figura 21. Contenido de Ca y Mg en la raíz según tratamiento de riego.	38
Figura 22. Contenido de Mn y Cu en la raíz según tratamiento de riego.	39
Figura 23. Eficiencia en el uso de N en los genotipos evaluados bajo tres dosis de fertilización nitrogenada.	40
Figura 24. Análisis de componentes principales para la expresión de los genes en estudio en los genotipos de interés en ensayo factorial realizado en Vallenar.	42
Figura 25. Análisis de Cluster, para agrupamiento de los genotipos en estudio, en relación a la respuesta de la expresión de los genes bajo las condiciones de Vallenar.	42
Figura 26. PCA genotipo AZ 2 con el efecto factorial de Nutrición Nitrogenada versus Riego.	43
Figura 27. PCA genotipo AZ 39 con efecto factorial de Nutrición Nitrogenada versus Riego.	44
Figura 28. PCA genotipo AZ 67 con efecto factorial de Nutrición Nitrogenada versus Riego.	46
Figura 29. Diseño ensayo Jardín de Genotipos seleccionados en Vallenar.	48
Figura 30. Etapas Fenológicas por Genotipo (Días DS), indicando Germinación (negro), 6 hojas verdaderas (verde), Floración (rojo), y Madurez Fisiológica (amarillo). Cada punto a lo largo del eje vertical representa un genotipo o línea seleccionada.	52



Figura 31. Altura promedio por Genotipo, indicando distribución de frecuencias por altura (línea). Cada punto representa el promedio de 10 plantas individuales.	53
Figura 32. Producción por cada parcela en Genotipos individuales (barras), y promedio de producción por planta en cada Genotipo, también expresado en gramos (escala derecha). Cada punto verde representa promedio de 10 plantas individuales.....	54
Figura 33. Rendimientos de genotipos seleccionados, expresado en rendimiento individual equivalente por hectárea (Kg/ha), a partir de rendimiento por parcela (8 m ²) en la temporada....	55
Figura 34. Contenido promedio (%) de componentes proximales en los genotipos de quínoa crecidos en Vallenar.	63
Figura 35. Porcentaje de proteína (%) en genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.	64
Figura 36. Porcentaje (%) del Contenido Graso en genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar. ...	66
Figura 37. Porcentaje (%) del Contenido graso Oleico y Elaídico en 95 genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.	67
Figura 38. Porcentaje (%) del Contenido graso Linolénico /Linolelaídico en 95 genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.	67
Figura 39. Porcentaje (%) del Contenido graso Palmítico en 95 genotipos de Quínoa.	68
Figura 40. Porcentaje (%) del Contenido graso Linolénico en 95 genotipos de Quínoa.	69
Figura 41. Composición porcentual promedio de ácidos grasos en genotipos de Quínoa crecidas en Vallenar.	72
Figura 42. Comparación de los principales ácidos grasos del aceite de la semilla de Quínoa con otras semillas similares en composición.	73
Figura 43. Comparación de omega 6 y omega 3, en varios tipos de alimentos en relación a quínoa.	73
Figura 44. Porcentaje de Carbohidratos en granos de genotipos de Quínoa Atacameña.....	74
Figura 45. Porcentaje de Fibra cruda (%) y Ceniza (%) en grano de genotipos de Quínoa Atacameña analizados.....	75
Figura 46. Contenido Polifenoles Totales en granos de genotipos seleccionados de quínoa crecidos en Vallenar.	78
Figura 47. Capacidad Antioxidante determinada en granos de genotipos seleccionados de quínoa crecidos en Vallenar.	79



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de cinco tratamientos o épocas (y fecha), ensayo Época de Siembra.....	14
Cuadro 2. Variables evaluadas y sus indicadores.....	15
Cuadro 3. Duración de etapas fenológicas, Tº y horas luz (hl) promedio en cada una de las fases.	18
Cuadro 4. Descripción de tratamientos de fertilización Nitrogenada.	22
Cuadro 5. Listado de Muestras Colectadas.	23
Cuadro 6. Rendimiento de genotipos evaluados. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.	26
Cuadro 7. Rendimiento de los distintos genotipos en función de la dosis de fertilizante. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.	27
Cuadro 8. Rendimiento de los genotipos evaluados. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.	29
Cuadro 9. Rendimiento en función de la dosis de fertilizante. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.	29
Cuadro 10. Rendimiento en función del nivel hídrico. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.	30
Cuadro 11. Niveles de significancia para fertilización, riego e interacción Fertilización x Riego sobre el contenido de nutrientes en la parte aérea.	32
Cuadro 12. Niveles de significancia para fertilización, riego e interacción Fertilización x Riego sobre el contenido de nutrientes en la panoja.	35
Cuadro 13. Niveles de significancia para fertilización, riego e interacción Fertilización x Riego sobre el contenido de nutrientes en las raíces.	38
Cuadro 14. Eficiencia en el uso de N en los distintos genotipos evaluados bajo las diferentes tasas de fertilización nitrogenada. Los valores corresponden al promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	41
Cuadro 15. Matriz de correlación entre la expresión de los distintos genes en estudio en el genotipo AZ 2. Los valores indicados corresponden a los valores p del ANOVA.	44
Cuadro 16. Matriz de correlación entre la expresión de los distintos genes en estudio en el genotipo AZ 39. Los valores indicados corresponden a los valores p del ANOVA.	45
Cuadro 17. Matriz de correlación entre la expresión de los distintos genes en estudio en el genotipo AZ 67. Los valores indicados corresponden a los valores p del ANOVA.	46
Cuadro 18. Variables evaluadas y sus indicadores.....	50
Cuadro 19. Promedio de duración en las Etapas Fenológicas de todos los genotipos del Jardín estudiados en Vallenar (DDS días después de siembra).	51
Cuadro 20. Rendimientos obtenidos en los 10 Genotipos más productivos. Promedios de altura y peso de plantas individuales (n=10). Parámetros medidos en parcelas individuales.....	56
Cuadro 21. Composición del valor nutritivo de Quínoa Atacameña, en comparación con alimentos básicos (%).	59



Cuadro 22. Composición y valor nutritivo de Quínoa Atacameña en comparación con cereales....	59
Cuadro 23. Análisis Proximales en genotipos de quínoa cultivados en Vallenar.....	60
Cuadro 24. Análisis Proximales en genotipos de quínoa cultivados en Vallenar (Continuación).....	61
Cuadro 25. Análisis Proximales en genotipos de quínoa cultivados en Vallenar (Continuación)....	62
Cuadro 26. Perfil de Aminoácidos Esenciales en dos genotipos de quínoa de líneas seleccionadas. Resultados expresados en g/100g de proteína.....	65
Cuadro 27. Perfil de Aminoácidos Semi-Esenciales en dos genotipos de quínoa de líneas seleccionadas. Resultados expresados en g/100g de proteína.	65
Cuadro 28. Perfil de Aminoácidos No Esenciales en dos genotipos de quínoa de líneas seleccionadas. Resultados expresados en g/100g de proteína.	65
Cuadro 29. Compuestos funcionales: Perfil de ácidos grasos en granos de Quínoa.	69
Cuadro 30. Compuestos funcionales: Perfil de ácidos grasos en granos de Quínoa(Cont.).	70
Cuadro 31. Compuestos funcionales: Perfil de ácidos grasos en granos de Quínoa (Cont.).	71
Cuadro 32. Macro-minerales en genotipos seleccionados de quínoa Atacameña.....	76
Cuadro 33. Contenido de Fósforo y Calcio en distintas variedades de quínoa, cultivadas en diferentes países.	76
Cuadro 34. Micro-Minerales en genotipos seleccionados de quínoa Atacameña.....	76
Cuadro 35. Composición de minerales en otros productos alimenticios. Fuente: (www.entrenasalud.es/quinoa-algo-mas-que-un-alimento/).	77
Cuadro 36. Actividades de extensión realizadas durante el último año del proyecto.	80

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Etapas fenológicas del cultivo de la quínoa: Plántulas germinadas (7 días post siembra DPS). 2-4 hojas verdaderas. 6-8 hojas verdaderas. Ramificación o aparición brotes laterales. Panojamiento o emergencia primordio floral (50 DPS). Floración (63 DPS).....	14
Imagen 2. Recolección de muestras en terreno (corte, medición y traslado).	23
Imagen 3. Procesamiento de tejidos: Selección y división de muestras, trozado, y resultado obtenido (muestras 3mm); molienda y muestra procesada. Rotulado de las muestras.....	25
Imagen 4. Limpieza de plantas individuales con ventilador de semillas y trilla mecanizada.	26
Imagen 5. A: Cosecha de parcelas jardín de genotipos. B: Trilla mecanizada de parcelas jardín de genotipos.....	49



INFORME TÉCNICO FINAL

“Quínoa Atacameña: Determinación y caracterización de genotipos élite para incrementar el uso de quínoa en condiciones de restricción hídrica y salina”.

FIC-Atacama BIP-30432772-0

Ejecutor: Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA Intihuasi

EQUIPO DE TRABAJO

Encargado Proyecto: Dr. Andrés Zurita-Silva

Operario: Sr Sergio Rojas

Técnico Química, Srta. Jacqueline Campos.

Ing. Ejecución Agrícola: Sr. Rodrigo González

Ing. Agrónomo Sr. Alejandro Layana.

Gestión administrativa Sra. Magdalena Lagues

Investigadores:

Ing. Verónica Arancibia. Área Compuestos Funcionales.

Dr. Christian Alfaro. Mejoramiento y manejo agronómico

Dr. Claudio Balbontín. Ensayos agronómicos y diseño sistemas hídricos.

Dra. Dalma Castillo. Estrés hídrico y genómica.

Dr. Pedro León. Recursos genéticos, caracterización y conservación de semillas.

Dr. Ricardo Madariaga. Fitopatología y estrategias de control de enfermedades.

Comunicaciones Karinna Maltés, Federico Bierwirth

Agrodynamis consultores: Enrique Veas y Hernán P. Cortés.

Fecha informe: 9 Febrero de 2018



RESUMEN EJECUTIVO DEL PROGRAMA

La quínoa (*Chenopodium quínoa* W.) es un cultivo anual que destaca por su tolerancia a diversos factores de estrés ambiental, tales como sequía, salinidad y baja fertilidad de suelos. Asimismo, se destaca por su elevado contenido de proteína, y su balance de aminoácidos, siendo uno de los alimentos más completos entre las plantas. Existe un enorme potencial para la introducción de quínoa en regiones con necesidades de diversificación de cultivos, y con problemas de disponibilidad hídrica, tanto para la generación de proteína como de otros compuestos funcionales, gracias a las características de sus semillas como fuente alimenticia. Por tanto, se requiere desarrollar protocolos de manejo agronómico bajo las condiciones edáficas y climáticas de Atacama, de manera de entregar alternativas productivas para los productores regionales. Utilizando líneas seleccionadas de quínoa que ha generado INIA, se caracterizó su aptitud para Atacama, como alternativa a los problemas de disponibilidad hídrica, y así transformar su explotación en un rubro sustentable y económicamente viable para productores de Atacama.

A través del cultivo de quínoa, se determinó el potencial productivo en Atacama, a través de la caracterización e identificación de los genotipos mejor adaptados y sus componentes nutricionales y funcionales relevantes, para poder diferenciar alternativas en base a un paquete agronómico adaptado a las restricciones hídricas y climáticas imperantes, como primera fase para desarrollar en una siguiente etapa, nuevos productos a partir de grano, harina, productos frescos y/o procesados.

Basados en los genotipos seleccionados de quínoa del Programa de Mejoramiento Genético de INIA (PMG-Quínoa), se identificaron los materiales sobresalientes y mejor adaptados para ser utilizados en zonas con problemas de disponibilidad hídrica y salina de la región de Atacama. Se determinó la época de siembra óptima, correspondiente a *salidas de invierno* (fines Junio), y en ensayos agronómicos se probaron manejos relativos a Fertilización y Riego en condiciones de restricción hídrica controlada en Atacama. Este proyecto permitió identificar líneas seleccionadas con rendimiento de grano superior, registrándose un potencial productivo destacado, con un rendimiento equivalente superior a 5 toneladas/ha.

Finalmente se analizaron los genotipos de acuerdo a su Composición Nutricional y Funcional, determinando contenido y perfil de ácidos grasos, contenido de Proteínas y perfil de Aminoácidos, contenido de Carbohidratos, Fibra Cruda, Minerales y Compuestos Funcionales, tanto el Contenido de Polifenoles totales, como su Capacidad Antioxidante.



ESTADO DEL ARTE

La variabilidad climática y déficit hídrico se han incrementado incesantemente, lo cual requiere una mirada distinta y el desarrollo de cultivos resilientes con usos múltiples, que permitan adaptarse y mitigar los efectos de la aridización. Los atributos nutricionales de la quínoa, su adaptabilidad a condiciones agroecológicas adversas, la transforman en un excelente candidato para mejoramiento y puesta en valor (Zurita-Silva et al. 2014). La ausencia de superficie cultivada en Atacama no guarda relación con el potencial de la especie, cuya explotación no obstante se ve limitada por la disponibilidad de semillas seleccionadas y por prácticas agronómicas adaptadas a la zona, existiendo solamente una variedad o cultivar comercial disponible, el cual no ha sido sembrado en Atacama. El incremento de la demanda interna y externa y los atributos nutricionales de la quínoa, auguran un crecimiento sostenido de la demanda, incorporando a comunidades y productores locales, y permitiendo generar una alternativa productiva para una situación de disponibilidad hídrica limitada, que además se suma a la presencia de suelos salinos, característico de zonas agrícolas de la región de Atacama.

El grano de quínoa (*Chenopodium quinoa*) presenta un alto valor nutricional, dado por su alto contenido de proteínas que varía entre 13,81 y 21,9%, que la hace superior a cereales y/ granos como maíz, avena, trigo, soya y arroz (FAO 2011). Su calidad nutricional está dada por poseer alto contenido de minerales (calcio, fósforo y hierro), vitaminas como B1, fibra dietaria, compuestos antioxidantes, ácido fólico, y por sus hidratos de carbono. Además, es el único alimento del reino vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales para el organismo humano (leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina). Los contenidos de aminoácidos en la proteína de los granos de quínoa cubren los requerimientos de aminoácidos recomendados para niños en edad preescolar, escolar y adultos (FAO/OMS/UNU, 1985). Cien gramos de quínoa contienen casi el quíntuple de lisina, más del doble de isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina y valina, y cantidades muy superiores de leucina en comparación con 100 gramos de trigo (FAO 2011). Otro beneficio nutricional muy relevante del grano de quínoa es que **no contiene gluten**, característica importante para personas Celíacas, enfermedad de tipo autoinmune que se caracteriza porque las personas que la padecen tienen intolerancia permanente al gluten de los cereales, lo cual causa inflamación crónica y difusa de la mucosa del intestino delgado, ocasionando mala absorción de nutrientes.

Tradicionalmente este cultivo ha sido mantenido por comunidades y agricultores a pequeña escala, en zonas tan diversas como el Altiplano, secano costero de la zona central y la Araucanía lo que da cuenta de la gran adaptabilidad de esta especie. Sin embargo, **su**



explotación masiva y a escala industrial se ha visto limitada tanto por la disponibilidad de semillas seleccionadas como la falta de prácticas agronómicas adaptadas al cultivo intensivo, y en Chile existe solamente una variedad o cultivar comercial, “Regalona” de semillas Baer (von Baer *et al.* 2009).

Gracias a la bien documentada tolerancia a varios factores de estrés abiótico, tales como sequía, salinidad, baja fertilidad de suelos y frío, este cultivo podría hacer mucho menos precario los sistemas agrícolas vulnerables (Fuentes *et al.* 2009; Zurita *et al.* 2014). Por ende, existe un enorme potencial para la introducción de quínoa en regiones con necesidades de **diversificación de cultivos**, y con problemas de **disponibilidad hídrica**, para la generación de proteína y otros compuestos funcionales, gracias a las características inherentes que poseen sus semillas como fuente alimenticia. Por esto es necesario generar protocolos de manejo agronómico del cultivo bajo las diferentes condiciones edáficas y climáticas de las localidades específicas, de manera de definir requerimientos para obtener rendimientos económicamente atractivos para los productores. Por tanto, dado el potencial de las líneas seleccionadas de quínoa que ha generado INIA, es necesario caracterizar de mejor forma su aptitud en Atacama, dado que no se conocen antecedentes de su cultivo a escala comercial, para generar una alternativa a los problemas de disponibilidad hídrica, y transformar su explotación agrícola en un rubro sustentable, y económicamente rentable para productores de Atacama.

A través del cultivo de quínoa con genotipos seleccionados, se avanzará en determinar el potencial productivo local, a través de la asociación y caracterización de los genotipos mejor adaptados y sus componentes funcionales relevantes, para la posterior diferenciación de alternativas basadas en un paquete agronómico adaptado a las restricciones hídricas y climáticas imperantes, como primera fase para desarrollar en la siguiente etapa, nuevos productos a partir de **grano** (barras alimenticias), **harina** (de especialidad y productos para celíacos), **productos frescos** (brotes y ensaladas listos para servir) y/o **saponinas** (como bioproducto industrial). Basados en los materiales desarrollados previamente por INIA, se identificaron materiales sobresalientes y mejor adaptados para ser utilizados en zonas con problemas de disponibilidad hídrica de la región de Atacama.



OBJETIVOS DEL PROYECTO

General

Utilizar genotipos avanzados (élite) adaptados a condiciones locales y restricción hídrica, para diversificar e incrementar los usos de quínoa y transferir los productos y paquetes tecnológicos asociados.

Específicos

- Seleccionar genotipos adaptados de quínoa para su establecimiento en ensayos agronómicos y condiciones de restricción hídrica controlada en Atacama, y generar recomendaciones de manejo agronómico (OE1).
- Caracterizar los genotipos según adaptabilidad y rendimiento de grano en respuesta a fertilidad y tasas de riego, considerando parámetros productivos y rentabilidad de agua (OE2).
- Diferenciar genotipos de acuerdo a sus atributos funcionales y con ello sentar las bases para su potencial uso en la industria alimentaria, ya sea como alimentos de especialidad (celíacos, diabetes) y/o procesados (barras de cereal, leche) y/o alimentos frescos (brotes y ready-to-eat) (OE3).
- Transferir tecnologías que permitan difundir los avances, potencial y resultados obtenidos mediante actividades en terreno con productores e interesados (OE4).

Estratégicos

- Mejorar la competitividad de los horticultores y productores de la Región de Atacama, mediante la Investigación para incorporar nuevos cultivos y obtener nuevos productos con valor agregado.
- Promocionar el sector agroalimentario en las zonas rurales a través de la innovación, desde el punto de vista de la innovación en productos con identidad local, y de alta calidad nutricional.
- Potenciar las líneas de alimentos saludables que se generen en la Región de Atacama, reforzando la identidad productiva local bajo el alero de una marca Regional que reúna los productos que cumplen con estas características.
- Incorporar cultivos resilientes en una zona con severas limitaciones hídricas y edáficas, generando alternativas que puedan tolerar condiciones adversas, y/o que utilicen de manera más eficiente los limitados recursos hídricos.



PROTOCOLO GENERAL TRABAJO DE CAMPO

Implementación de Unidades de Validación.

Se implementaron tres unidades de validación, principalmente en INIA Vallenar, para el desarrollo y determinaciones referidas a Época de siembra, Jardín de Genotipos y Estándar 10.

Respecto al Ensayo Riego y Nutrición correspondiente a fertilización nitrogenada y aplicaciones de riego, se implementaron unidades de validación en INIA Vallenar y Mallorquina (suelo salino).

Este último ensayo se realizó mediante un diseño con tres factores con bloques aleatorizados, en donde se combinaron:

Riego: Tres tratamientos de riego, Riego Control (100% de reposición), 75% y 50% del Riego Control respectivamente .

Fertilización: Tres dosis de Fertilización Nitrogenada en cuatro momentos diferentes.

Genotipos: tres genotipos contrastantes seleccionados a partir del PMG-Quínoa INIA.

Manejos agronómicos y determinaciones en el cultivo.

Se determinó y ejecutó un protocolo de labores habituales, y mediciones de estados fenológicos del cultivo, caracteres morfológicos, tasas de riego, parámetros climáticos que influyen sobre el desarrollo del cultivo (Temperatura y Humedad Relativa). Se utilizaron los descriptores FAO para quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres, considerando:

- Etapas fenológicas: Emergencia, inicio Panojamiento, inicio de floración, grano lechoso y madurez fisiológica.
- Caracteres morfométricos: altura de las plantas, hábitos de crecimiento y caracteres de la panoja (ancho, largo y grado de aglomeración de la panoja).
- Observaciones generales como presencia de plagas, enfermedades, porcentaje de caída de plantas, generando labores de control requeridas.

Finalmente, se realizaron charlas técnicas, y días de campo para mostrar avances del proyecto en diversas localidades.



CAPÍTULO 1. ENSAYOS PARA DETERMINAR ÉPOCA DE SIEMBRA.

Los ensayos se establecieron en el Centro Experimental Huasco de INIA, localizado en el sector de la Hacienda La Compañía, comuna de Vallenar. El diseño utilizado para este ensayo fue de 3 bloques completamente al azar. Cada bloque está compuesto por una parcela de 16 m² y cada una de éstas posee ocho hileras de cultivo separadas cada 0,5 metros. En cada parcela se establecieron 3 genotipos (AZ103, AZ77 y AZ11) en dos hileras de cultivos, donde se etiquetaron 10 plantas centrales por genotipo para evitar el efecto borde.

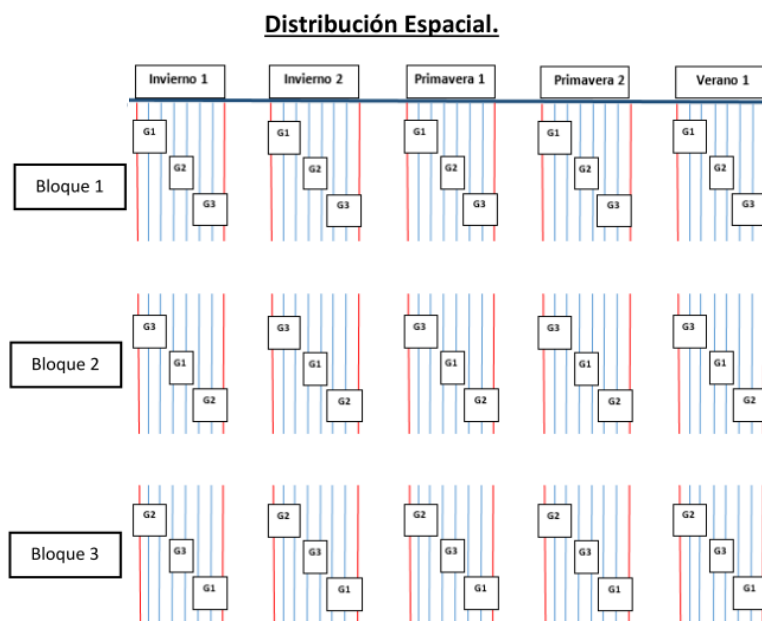


Figura 1. Distribución espacial de los ensayos de época de siembra en Vallenar.

1.1. Descripción de los Tratamientos y Evaluaciones.

Los tratamientos correspondieron al establecimiento en distintas épocas y fechas de siembra y la correspondiente evaluación del comportamiento fenológico, morfométrico y rendimientos de los genotipos AZ 103, AZ 77 y AZ 11, que se detallan en Cuadro 1.

Se cosechó por separado 10 plantas marcadas en la fase fenológica de Panojamiento, las cuales fueron consideradas para evaluar fenología, altura de planta y rendimiento individual. El resto de las plantas en la parcela, se cosechó por separado, y se procesó y analizó post-trilla. Las fases o etapas fenológicas de la quínoa crecida en Vallenar se muestran en la Imagen 1, incluyendo las fases de germinación de plántulas; 2-4 hojas



verdaderas, 6-8 hojas verdaderas; ramificación o aparición brotes laterales; panojamiento o emergencia primordio floral y finalmente Floración.

Cuadro 1. Descripción de cinco tratamientos o épocas (y fecha), ensayo Época de Siembra.

Genotipos	Tratamiento
AZ 103, AZ 77 y AZ 11	Siembra Época 1: Invierno 1 (30/06)
AZ 103, AZ 77 y AZ 11	Siembra Época 2: Invierno 2 (13/08)
AZ 103, AZ 77 y AZ 11	Siembra Época 3: Primavera 1 (5/10)
AZ 103, AZ 77 y AZ 11	Siembra Época 4: Primavera 2 (18/11)
AZ 103, AZ 77 y AZ 11	Siembra Época 5: Verano 1 (21/12)



Imagen 1. Etapas fenológicas del cultivo de la quínoa: Plántulas germinadas (7 días post siembra DPS). 2-4 hojas verdaderas. 6-8 hojas verdaderas. Ramificación o aparición brotes laterales. Panojamiento o emergencia primordio floral (50 DPS). Floración (63 DPS).

Las evaluaciones realizadas correspondieron a evaluaciones intermedias: estados fenológicos y caracteres morfométricos de altura de planta y evaluaciones de rendimiento. En el Cuadro 2 se presentan las variables evaluadas e indicadores.

El manejo respectivo, fue realizado siguiendo el mismo protocolo respecto a preparación de suelo, fertilización basal, manejos culturales y riego, con tal de hacer comparables los resultados. Estos protocolos se han incluido en los Boletines informativos que acompañan al Informe Final.



Cuadro 2. Variables evaluadas y sus indicadores.

Variables		Indicador
Clasificación	Nombre	
Estados Fenológicos	Emergencia	Número de días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado la emergencia.
	Ramificación	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado la ramificación.
	Panojamiento	Número de días desde la emergencia hasta 50% de plantas con la primera flor.
	Floración o antesis	Número de días desde la emergencia hasta 50% de plantas con la primera panoja madura.
	Grano lechoso	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado el grano lechoso.
	Grano pastoso	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado el grano pastoso.
	Madurez fisiológica	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado la madurez fisiológica.
Productividad primaria	Altura de planta	Altura final en Centímetros.
Rendimiento y sus Componentes	Rendimiento	Peso de semillas obtenidas en seis metro lineal, proyectado a ha.

1.2. Resultados Época de Siembra.

En este trabajo, se analizó el desarrollo y rendimiento de tres líneas seleccionadas de quínoa: AZ 77, AZ 11 y AZ 103, establecidas en cinco épocas de siembra: 30 de junio, 13 de agosto, 5 de octubre, 18 de noviembre y 21 de diciembre, de la temporada 2016/17, en la localidad de Vallenar. Cabe señalar que AZ 11 corresponde a ecotipo Salares, mientras que AZ 77 y AZ 103 corresponden al ecotipo costero / tierras bajas (lowlands), diferenciándose entre ellas por su duración del ciclo de cultivo, presentando ciclo intermedio y precoz, respectivamente.



La Figura 2 muestra que el avance en la fecha de siembra tuvo un efecto negativo en el rendimiento de los tres genotipos, siendo las épocas 1 y 5 la más beneficiosa y perjudicial respectivamente, para obtener altos rendimientos en todos los genotipos.

Respecto a los genotipos, AZ 11 destaca en las épocas de siembra 1 y 2, mientras que AZ 77 obtiene mayores rendimientos en las épocas 3, 4 y 5. Por otro lado, AZ 103 fue el genotipo de menor rendimiento en las cinco épocas de siembra.

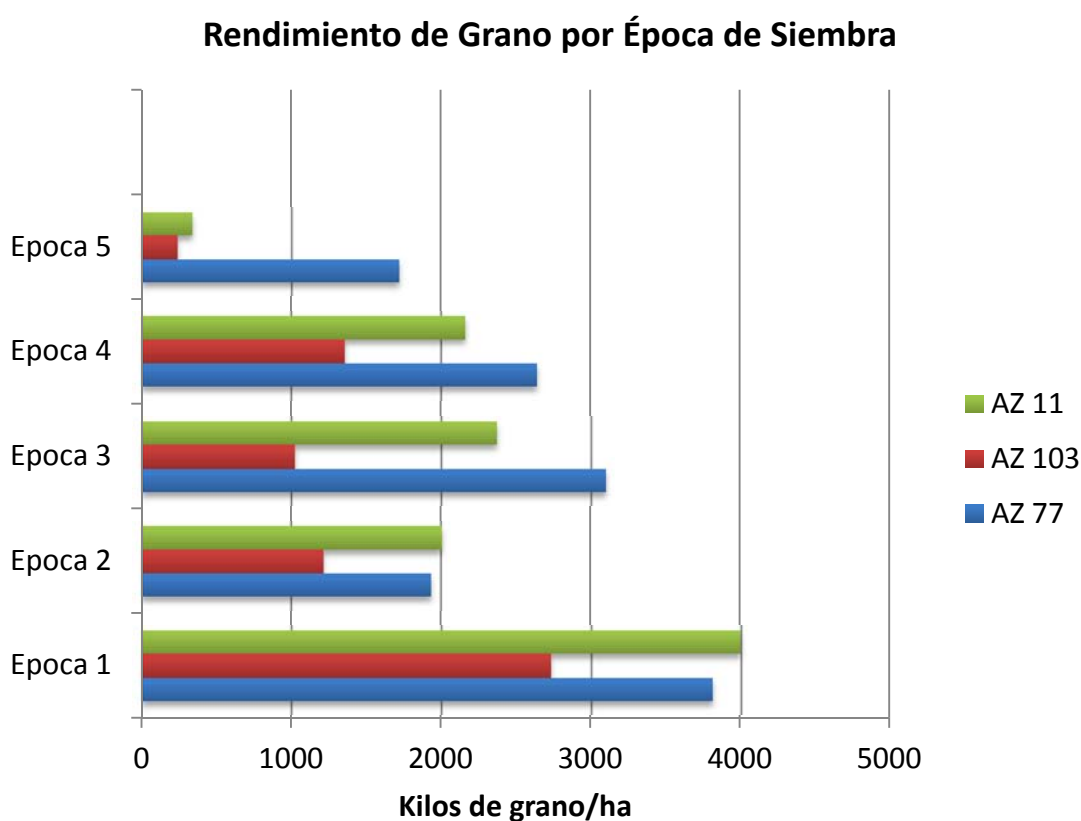


Figura 2. Rendimiento de grano por época de siembra (promedio por hectárea), en quínoa cultivada en Vallenar.

Asimismo, se analizó la respuesta de cada genotipo según la época de siembra (Figura 3). Para ello se realizó un análisis de regresión mediante el cual se asoció el rendimiento de los genotipos para cada una de las épocas de siembra, con la media general de todos los genotipos (Índice Ambiental).



Así, mediante el coeficiente de regresión se pudo definir la estabilidad de los individuos. Coeficientes mayores a 1 se vinculan a genotipos sensibles a cambios ambientales, que se adaptan bien a ambientes favorables, mientras que coeficientes menores a 1, dan cuenta de individuos insensibles a cambios ambientales, de alta adaptabilidad a ambientes desfavorables (Roa de Acevedo & Arcia, 1987; Becker & León, 1998; Calderini & Dreccer, 2002).

En este caso los tres genotipos presentaron R^2 inferiores a 1 por lo que se podría inferir que presentarían cierta plasticidad para adaptarse a las adversidades ambientales. Sin embargo, se pudo observar que AZ 77 presentó el menor R^2 , 0.88, destacándose en las épocas 3, 4 y 5, que fueron las de mayor temperatura ambiental durante floración.

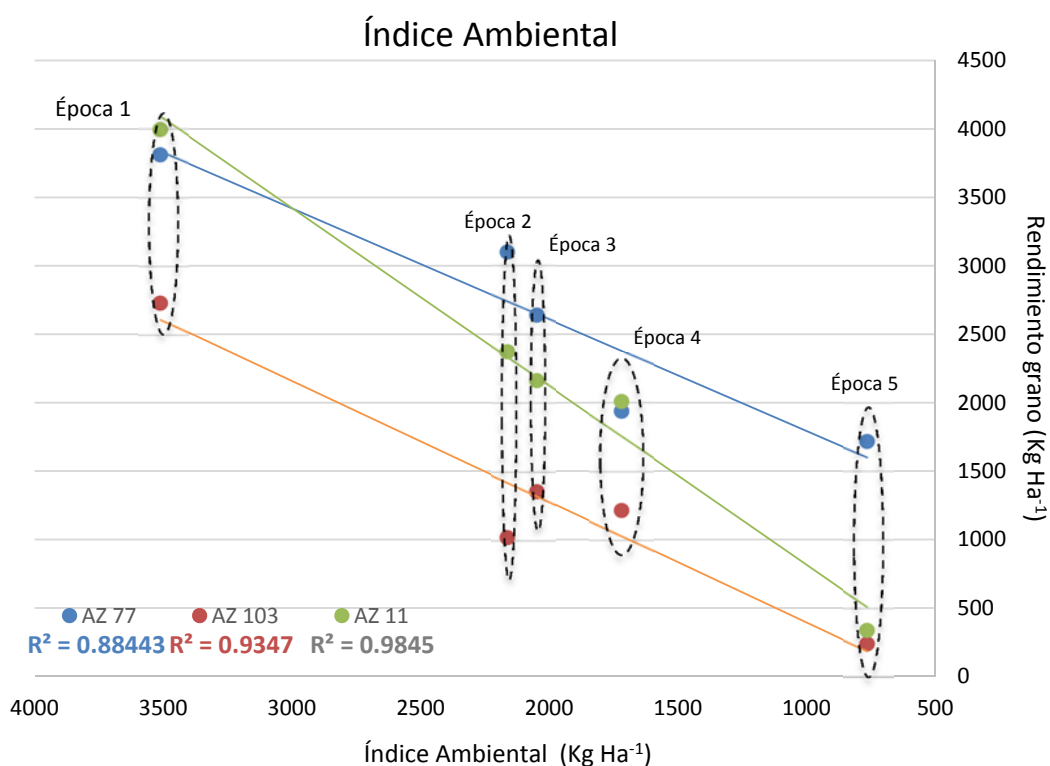


Figura 3. Rendimiento de tres genotipos de quínoa por cada época de siembra en Vallenar.



El principal factor ambiental que afecta a la quínoa tanto en crecimiento como germinación y productividad es la temperatura (Hirich et al 2014). La sensibilidad a T° y fotoperiodo depende del ecotipo de quínoa, siendo las de origen costero (lowlands) de Chile las menos sensibles al fotoperiodo. Como los genotipos en estudio presentaron una respuesta muy diferente en rendimiento a cada Época de siembra, se dividió el ciclo de desarrollo del cultivo en dos fases: 1ª de siembra a floración (vegetativa) y 2ª de floración a madurez fisiológica (reproductiva y formación de grano), y se calcularon las T° máximas y mínimas promedio para cada fase señalada, así como las horas luz.

Los resultados obtenidos indican que a medida que avanza la época de siembra se incrementan las temperaturas máximas y mínimas para ambas fases en promedio 2°C (Cuadro 3), modificando la duración de las fases de desarrollo.

Cuadro 3. Duración de etapas fenológicas, T° y horas luz (hl) promedio en cada una de las fases.

Fecha de siembra	Etapa	T° máxima promedio	T° mínima promedio	Días duración y horas luz (hl) de cada etapa desde fecha siembra		
				AZ 11	AZ 77	AZ 103
Época 1 (30/06)	Siembra a inicio floración	20.5	7.1	91 d / 12:17l	92 d , 12:19	91 d , 12:17
	Floración a madurez fisiológica	23.0	8.1	34 d / 13:13	36 d, 13:17	24 d, 12:57
Época 2 (13/08)	Siembra a inicio floración	22.6	8.1	74 d 13:02	77 d, 13:07	66 d, 12:45
	Floración a madurez fisiológica	24.4	8.9	42 d, 13:53	39 d, 13:53	40 d, 13:45
Época 3 (5/10)	Siembra a inicio floración	24.6	9.8	56 d, 13:47	63 d, 13:53	56 d, 13:47
	Floración a madurez fisiológica	26.0	12.8	44 d, 13:48	41 d, 13:45	40 d, 13:51
Época 4 (18/11)	Siembra a inicio floración	26.0	12.0	58 d, 13:47	62 d, 13:43	55 d, 13:49
	Floración a madurez fisiológica	27.5	13.6	44 d 13:05	41 d, 12:45	35 d, 13:05
Época 5 (21/12)	Siembra a inicio floración	27.2	14.0	50 d, 13:15	54 d 13:09	53 d 13:11
	Floración a madurez fisiológica	27.8	12.9	49 d: 11:53	54 d, 11:38	46 d, 11:52



En todos los genotipos, se redujo la fase de siembra a floración desde la Época 1, mientras que se extendió el periodo comprendido entre floración y madurez fisiológica (Figura 4). Además de un efecto detrimental en el rendimiento (Figura 2). Lesjak y Calderini, (2017), determinaron que incrementos de temperatura nocturna de 4°C durante la floración de dos genotipos de quínoa reducen el rendimiento hasta en 31%, mientras que el incremento térmico durante llenado de grano no provocan reducción significativa del mismo. Los mismos autores señalan que el incremento de temperaturas tiene un efecto negativo sobre la formación de biomasa de las plantas, lo cual se explicaría por la alteración de la duración del ciclo del cultivo o de la tasa de crecimiento, traduciéndose finalmente en un menor rendimiento.

Temperaturas cercanas a 20°C después de floración, promueven el desarrollo de la semilla en ecotipos lowlands (Isobe et al, 2016), lo cual coincide con los resultados de este estudio. Jacobsen and Bach (1998), indican que la T° óptima para el crecimiento de la quínoa es 20°C, base 3°C.

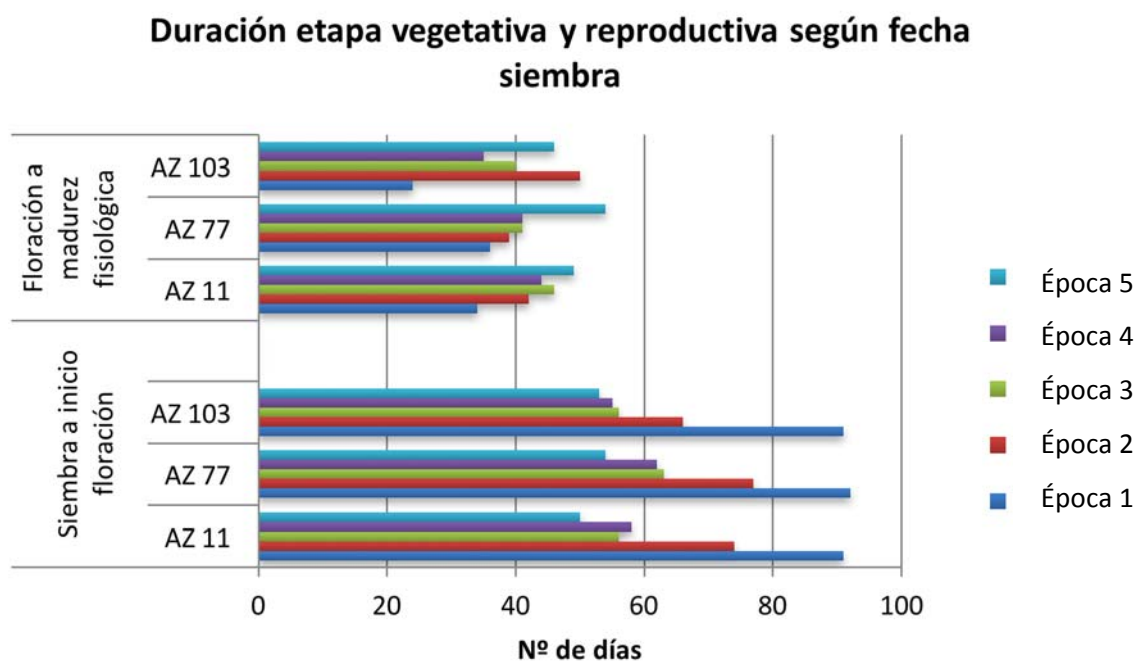


Figura 4. Duración etapas fenológicas según Época de siembra.



La variación en la respuesta tanto a T° como fotoperiodo fue la causa de las diferencias en fenología entre los genotipos lo cual a su vez está ligado al componente genético y a la zona de origen del mismo (Curti et al. 2016).

Respecto al fotoperiodo, la diferencia en longitud de día entre las fechas de siembra fue en promedio 1 h más en el periodo siembra a floración y 1 h menos en el periodo floración a madurez fisiológica. Curti et al. (2016) señalan que la duración de la fase reproductiva es afectada por el fotoperiodo de dos maneras: afectando la expansión de las hojas o incrementando el filocrono. Bertero (2003) señala que la duración de todas las fases de desarrollo son sensibles al fotoperiodo, por lo tanto, de acuerdo con Isobe et al. (2016), la fecha de siembra tiene una fuerte influencia en el rendimiento final de la quínoa.

Esto último hace necesario la continuidad de profundizar estudios como éste, ya que conociendo la respuesta de los diversos genotipos de quínoa a la T° y fotoperiodo se podrán definir las mejores fechas de siembra para cada uno de ellos alcanzando así su máximo potencial productivo.



CAPÍTULO 2. ENSAYOS FACTORIALES DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN.

Los ensayos factoriales se establecieron en dos localidades de Atacama: Centro Experimental Huasco de INIA, localizado en el sector de la Hacienda La Compañía, comuna de Vallenar, y en sector San Pedro, fundo La Mallorquina, Copiapó. El objetivo de estos ensayos fue estudiar los efectos de tres tratamientos de riego y su interacción con distintas dosis de nitrógeno.

2.1. Diseño Experimental.

El diseño experimental fue de bloques aleatorizados, que consideraron 3 repeticiones. Cada bloque consideró 27 parcelas de 8 m² y cada una de éstas conformando 4 hileras de cultivo separadas cada 0,5 metros, donde se marcaron 10 plantas centrales para su evaluación. El esquema del ensayo se muestra a continuación (Figura 5).

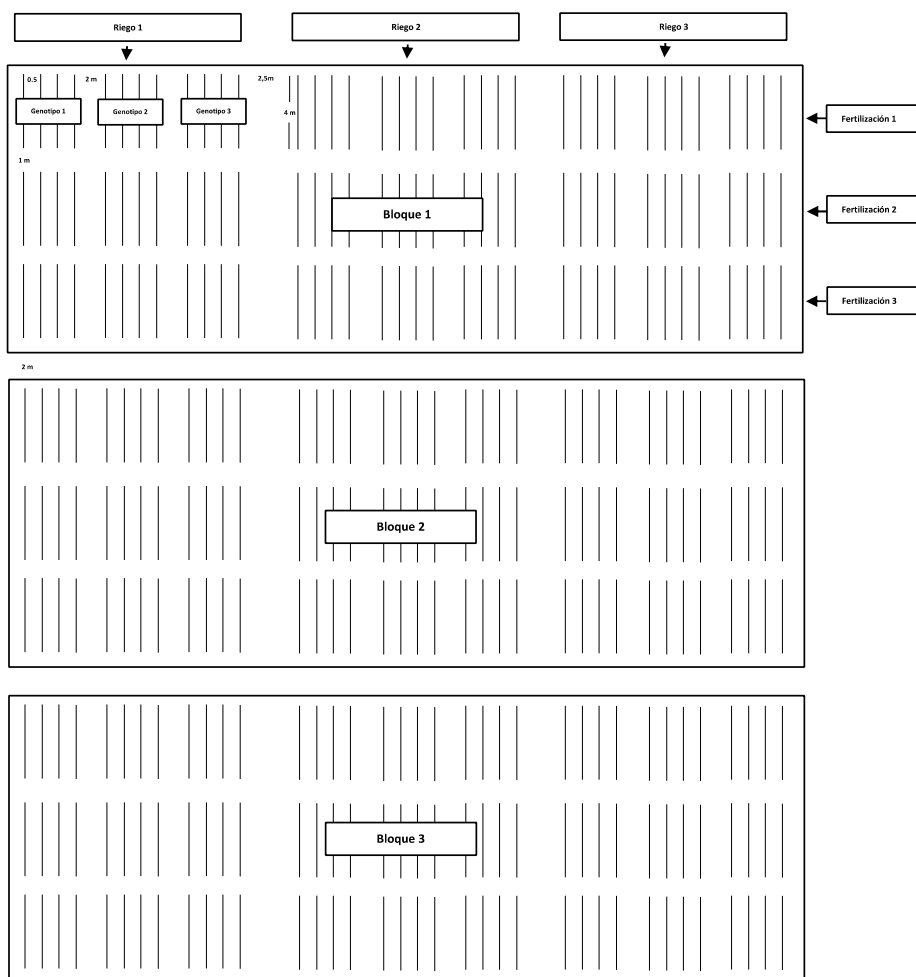


Figura 5. Distribución espacial ensayo Factorial de riego y fertilización en dos localidades.



2.2. Descripción de los Tratamientos.

Tratamientos de riego. Se realizó un tratamiento de tres riegos en función del tiempo en base a ETo: 100%, 75% y 50%. El régimen utilizado correspondió a una frecuencia y volumen estimado para quínoa, y para la zona. El método de riego utilizado fue de riego tecnificado, con una línea de cinta de riego por hilera de cultivo y goteros distribuidos a 20 cm (1 L /hora por gotero). Los tratamientos de riego equivalentes aplicados en m³ fueron “normal” 2.819 m³, estrés leve 2.486 m³ y estrés moderado 2.093 m³.

Tratamientos de fertilización nitrogenada. El segundo factor estudiado correspondió a aplicaciones crecientes de fertilizante nitrogenado como se detalla en el Cuadro 4. El fertilizante utilizado correspondió a KNO₃ (Nitrato de Potasio) (13-0-43) y se aplicó de forma localizada y parcializada en siembra (1° aplicación), inicio panoja (2° ap.), floración (3° ap.) y grano lechoso (4° ap.).

Cuadro 4. Descripción de tratamientos de fertilización Nitrogenada.

Tratamientos	Unidades de Nitrógeno
Fertilización 1	40
Fertilización 2	65
Fertilización 3	115

2.3. Recolección de la muestras.

Las plantas fueron colectadas 30 días después de floración, privilegiando que se encontraran en estado vegetativo (material verde), y fueron extraídas de forma completa separando en Raíz, Tallo y Panoja. Estas plantas fueron registradas con la nomenclatura del ensayo (Cuadro 5), para posteriormente ser trasladadas al laboratorio de análisis en la ciudad de Vicuña, donde se realizaron las labores de limpieza, chipeado y molido de las muestras.

De estos 3 bloques se eligió un bloque donde se colectaron 5 plantas por cada una de las unidades experimentales para el análisis nutricional (Imagen 2).



Imagen 2. Recolección de muestras en terreno (corte, medición y traslado).

Cuadro 5. Listado de Muestras Colectadas.

Bolsa	Identificación (Riego – Parcela)
1	R ₁ P ₁
2	R ₁ P ₂
3	R ₁ P ₃
4	R ₁ P ₄
5	R ₁ P ₅
6	R ₁ P ₆
7	R ₁ P ₇
8	R ₁ P ₈
9	R ₁ P ₉
10	R ₂ P ₁
11	R ₂ P ₂
12	R ₂ P ₃
13	R ₂ P ₄
14	R ₂ P ₅
15	R ₂ P ₆
16	R ₂ P ₇
17	R ₂ P ₈
18	R ₂ P ₉
19	R ₃ P ₁
20	R ₃ P ₂
21	R ₃ P ₃
22	R ₃ P ₄
23	R ₃ P ₅
24	R ₃ P ₆
25	R ₃ P ₇
26	R ₃ P ₈
27	R ₃ P ₉



2.3.1. Preparación de muestras.

Las muestras fueron limpiadas, rotuladas y divididas en tres partes en el laboratorio:

- Panoja: estructura reproductiva donde se desarrolla la semilla.
- Tallo: parte aérea menos la panoja.
- Raíces

Con este procedimiento el número de muestras a analizar aumentó a 81 muestras, ya que cada muestra se dividió en 3 (muestra R_1P_1 se dividió en R_1P_1 raíz, R_1P_1 tallo y R_1P_1 panoja). Cada una de estas muestras fueron “chipeadas” de forma separada (partículas de 3 mm como máximo); el objetivo de este trozado fue minimizar el tamaño de las partículas para ser procesadas en un molino de laboratorio específico de tejidos vegetales. En raíces, estas fueron limpiadas cuidadosamente para evitar que restos de suelos pudieran interferir con los resultados.

Las metodología seguida en laboratorio se presenta en la Imagen 3, y las fases fueron:

- a) Selección y división de muestras: se seleccionaron 3 de las 5 plantas (las que estaban en mejor condición y se dividieron en las tres porciones descritas).
- b) Chipeado de muestras: trozado de las muestras.
- c) Molienda de muestras: para dejar muestras con estructura similar a harina.
- d) Envasado de las muestras: para posterior análisis.

Los resultados obtenidos de los análisis se expresan en % de macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y los nutrientes Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Los micronutrientes Zinc (Zn), Manganeso (Mn) y Cobre (Cu) se expresan en partes por millón (ppm).

2.4. Metodología de cosecha.

Para la cosecha de este ensayo se implementó la siguiente metodología.

1. Identificación y cosecha de 10 plantas individuales de cada parcela/tratamiento.
2. Embolsado y rotulado de plantas individuales.
3. Las hileras centrales y bordes se combinaron para grano consumo.
4. Se realizó trilla manual y limpieza de plantas individuales.
5. Se implementó Trilla mecánica de hileras centrales y bordes.
6. Estos bordes y centros fueron trillados separadamente para su posterior pesaje y obtención de rendimientos estimados por parcelas.



Imagen 3. Procesamiento de tejidos: Selección y división de muestras, trozado, y resultado obtenido (muestras 3mm); molienda y muestra procesada. Rotulado de las muestras.

Las labores de trilla de plantas individuales fueron la que presentaron la mayor demanda de tiempo por lo delicado y prolijo que debió realizarse este trabajo (Imagen 4).

La trilla (separación y selección del grano desde las panojas cosechadas) se realizó con una trilladora estacionaria adaptada para quínoa, la cual permitió separar de forma eficiente el grano de la panoja, no dejando impurezas mayores en la semilla y eliminando por la parte posterior el rastrojo del proceso.



Imagen 4. Limpieza de plantas individuales con ventilador de semillas y trilla mecanizada.

2.5. Resultados Obtenidos.

2.5.1. Efecto de los tratamientos de fertilización, riego y genotipo sobre el rendimiento en Vallenar.

Se obtuvieron diferencias significativas entre los genotipos ($p < 0,0489$) en el rendimiento obtenido por planta, con valores promedios entre $15,96$ y $18,08 \text{ g planta}^{-1}$ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento de genotipos evaluados. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Genotipo	Rendimiento (g planta^{-1})
AZ 2	$15,96 \pm 0,65 \text{ b}$
AZ 39	$18,08 \pm 0,70 \text{ a}$
AZ 67	$17,62 \pm 0,60 \text{ ab}$

Los tratamientos de fertilización también resultaron en diferencias significativas ($p < 0,0097$) en el rendimiento por planta (Cuadro 7).



Cuadro 7. Rendimiento de los distintos genotipos en función de la dosis de fertilizante. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Dosis fertilización (kg N ha ⁻¹)	Rendimiento (g planta ⁻¹)
40	15,84 $\pm$ 0,51 b
65	18,60 $\pm$ 0,78 a
115	17,23 $\pm$ 0,63 ab

No se observaron diferencias entre los tratamientos de riego ($p < 0,5908$), con valores promedio que fluctuaron entre $16,85 \pm 0,61$ y $17,74 \pm 0,76$ g planta⁻¹. Sin embargo, la interacción Genotipo x Riego fue significativa ($p < 0,0084$), por lo cual se realizó el análisis por cada genotipo. El genotipo AZ 2 mostró una respuesta significativa ($p < 0,0255$) a la tasa de riego, obteniéndose los mayores valores con tasas de riego equivalentes al **50% de la ET** ($17,73 \pm 1,13$), mientras que las tasas de 75% y 100% presentaron valores de $16,45 \pm 1,38$ y $13,65 \pm 0,81$ g planta⁻¹, respectivamente (Figura 6). Los genotipos AZ 39 y AZ 67 no presentaron respuesta significativa al riego ($p < 0,1024$ y $p < 0,1599$, respectivamente) (Figuras 7 y 8).

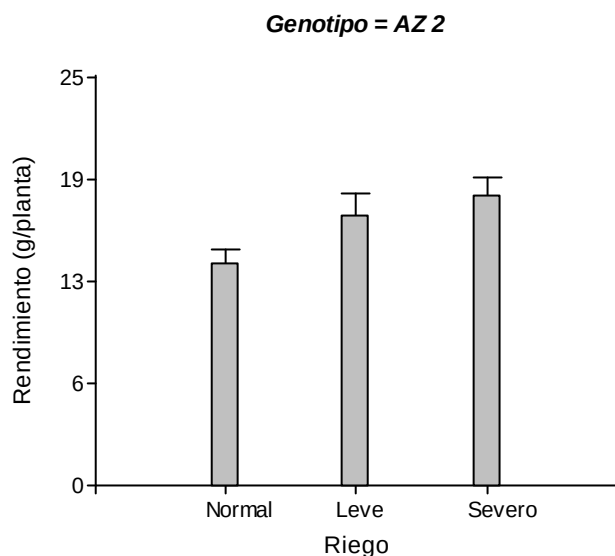


Figura 6. Rendimiento del genotipo AZ 2 según tratamiento de riego.

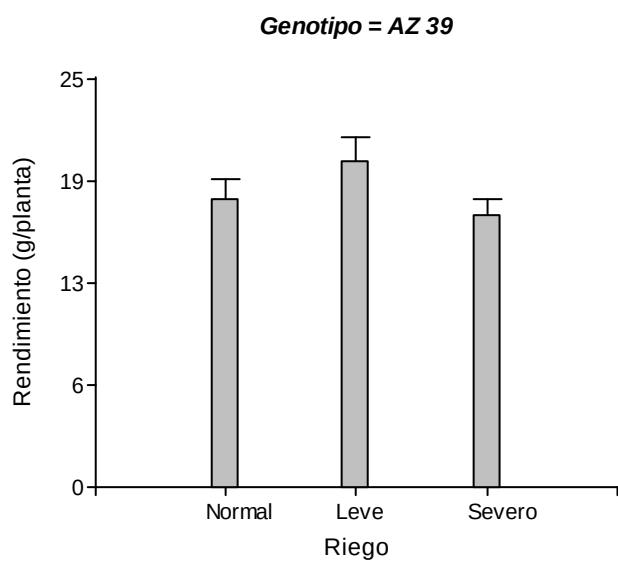


Figura 7. Rendimiento del genotipo AZ 39 según tratamiento de riego.

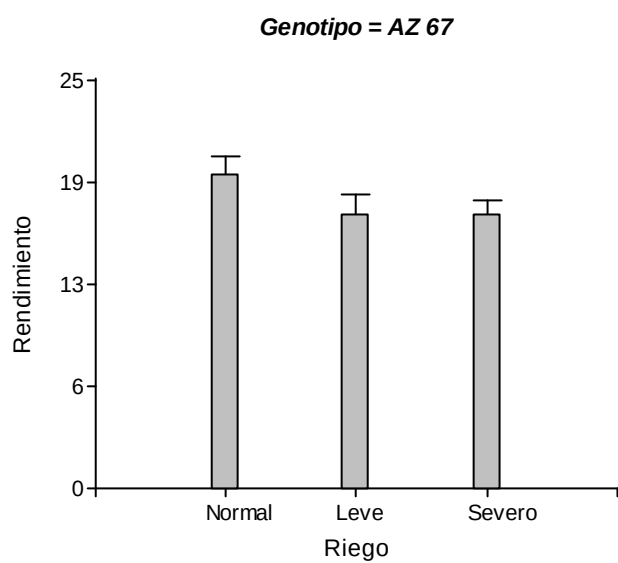


Figura 8. Rendimiento del genotipo AZ 67 según tratamiento de riego.



2.5.2. Efecto de los tratamientos de fertilización, riego y genotipo sobre el rendimiento en Mallorquina, valle de Copiapó.

Existieron diferencias significativas entre los genotipos ($p < 0,0001$) en el rendimiento obtenido por planta, con valores promedios entre 6,94 y 9,81 g planta⁻¹ (Cuadro 8). Cabe señalar que se utilizaron genotipos diferentes por disponibilidad de semilla únicamente.

Cuadro 8. Rendimiento de los genotipos evaluados. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Genotipo	Rendimiento (g planta ⁻¹)
AZ 12	8,09 $\pm$ 0,33 b
AZ 30	9,85 $\pm$ 0,35 a
AZ 36	6,94 $\pm$ 0,25 c

En tanto, la aplicación de 115 kg N ha⁻¹ aumentó de forma significativa el rendimiento del cultivo ($p < 0,0001$) en comparación con las dosis menores (Cuadro 9).

Cuadro 9. Rendimiento en función de la dosis de fertilizante. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Dosis fertilización (kg N ha ⁻¹)	Rendimiento (g planta ⁻¹)
40	7,16 $\pm$ 0,33 c
65	8,26 $\pm$ 0,31 b
115	9,41 $\pm$ 0,31 a

De igual forma, los tratamientos de riego resultaron en diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el rendimiento (Cuadro 10).



Cuadro 10. Rendimiento en función del nivel hídrico. Los valores representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Nivel estrés hídrico	Rendimiento (g planta ⁻¹)
Sin estrés	7,44 $\pm$ 0,29 b
Leve	7,94 $\pm$ 0,32 b
Severo	9,50 $\pm$ 0,34 a

La interacción Genotipo x Riego fue significativa ($p < 0,0001$), por lo cual se realizó el análisis por cada genotipo. El genotipo AZ 12 mostró una respuesta significativa ($p < 0,0001$) a la tasa de riego, obteniéndose los mayores valores con tasas de riego equivalentes al **50% de la ET** (10,15 $\pm$ 0,62), mientras que las tasas de 75% y 100% presentaron valores de 7,03 $\pm$ 0,59 y 7,21 $\pm$ 0,44 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 9). El genotipo AZ 36 mostró una respuesta similar al anterior, obteniéndose los mayores valores ($p < 0,0001$) con tasas de riego equivalentes al 50% de la ET (8,88 $\pm$ 0,54), mientras que las tasa de 75% y 100% presentaron valores de 6,74 $\pm$ 0,39 y 5,21 $\pm$ 0,23 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 10). El genotipo AZ 30 no presentó respuesta significativa al riego ($p < 0,7796$), con un valor promedio de 9,85 $\pm$ 0,61 g planta⁻¹ (Figura 11).

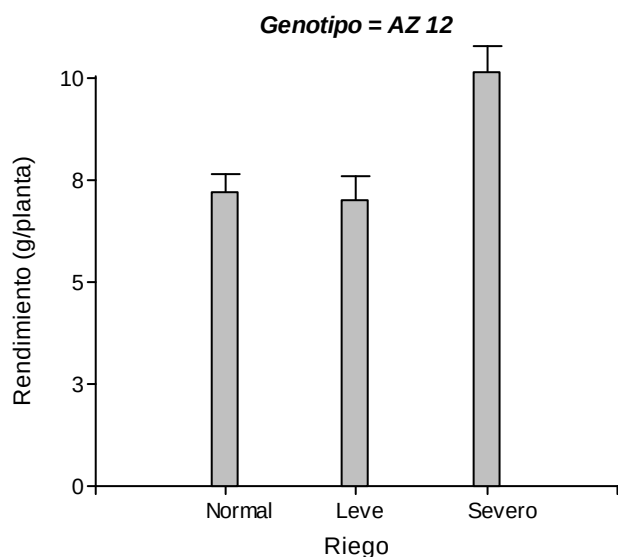


Figura 9. Rendimiento del genotipo AZ 12 según tratamiento de riego.

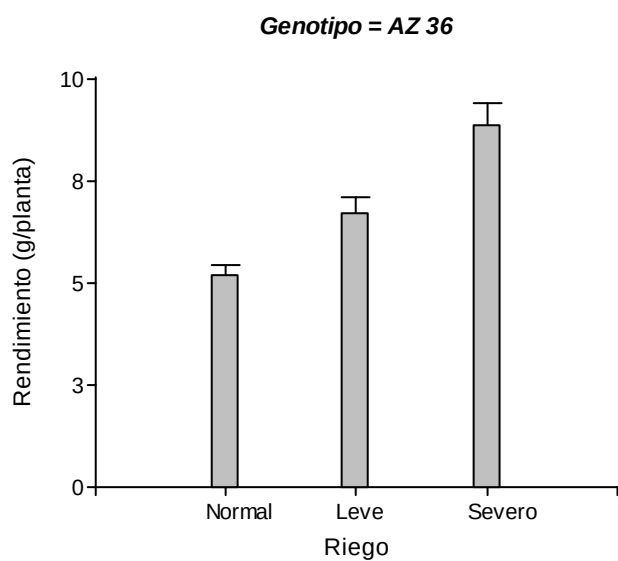


Figura 10. Rendimiento del genotipo AZ 36 según tratamiento de riego.

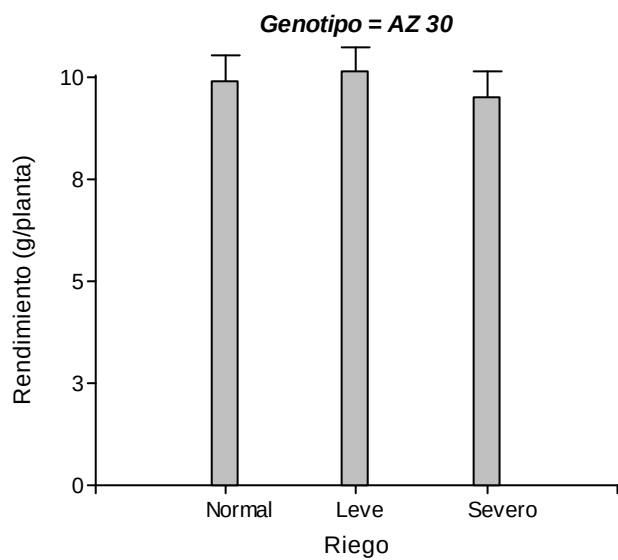


Figura 11. Rendimiento del genotipo AZ 30 según tratamiento de riego.



2.5.3. Efecto de los tratamientos sobre el nivel de nutrientes en la planta.

La evaluación nutricional se realizó sólo en muestras obtenidas desde el ensayo en Vallenar. Las plantas fueron separadas en parte aérea (hojas + tallos), panoja y raíz, donde se determinó el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn y Cu.

Los tratamientos de fertilización no tuvieron efectos sobre el contenido foliar de nutrientes (Cuadro 11).

Cuadro 11. Niveles de significancia para fertilización, riego e interacción Fertilización x Riego sobre el contenido de nutrientes en la parte aérea.

Nutriente	Fertilización	Riego	Fertilización*Riego
N	n.s.	n.s.	n.s.
P	n.s.	*	n.s.
K	n.s.	**	n.s.
Ca	n.s.	**	n.s.
Mg	n.s.	**	n.s.
Zn	n.s.	n.s.	n.s.
Mn	n.s.	*	n.s.
Cu	n.s.	**	n.s.

El estrés hídrico disminuyó de forma significativa el contenido de K ($p < 0,0074$; Figura 12), Ca ($p < 0,0005$; Figura 13), Mg ($p < 0,0094$; Figura 14), Mn ($p < 0,0275$; Figura 15) y Cu ($p < 0,0007$; Figura 15) en las hojas. Sólo el tratamiento con estrés leve produjo una disminución del contenido foliar de P ($p < 0,0384$; Figura 16).

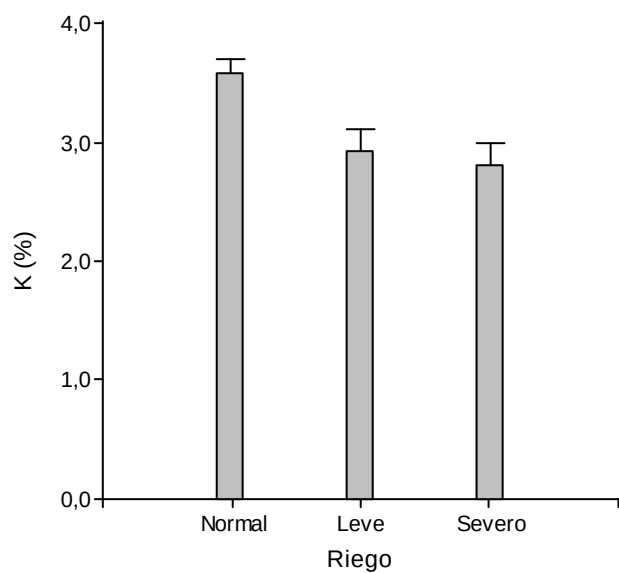


Figura 12. Contenido foliar de K según tratamiento de riego.

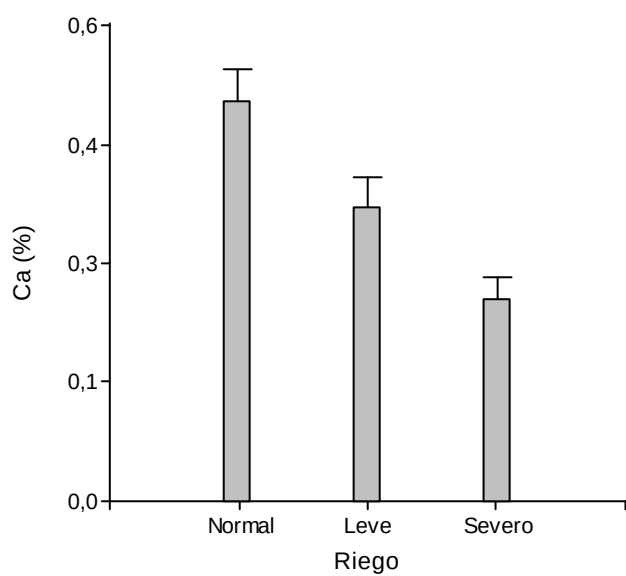


Figura 13. Contenido foliar de Ca según tratamiento de riego.

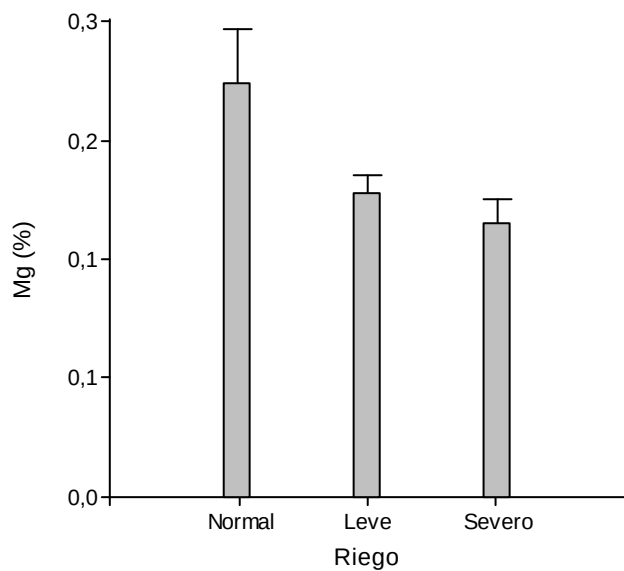


Figura 14. Contenido foliar de Mg según tratamiento de riego.

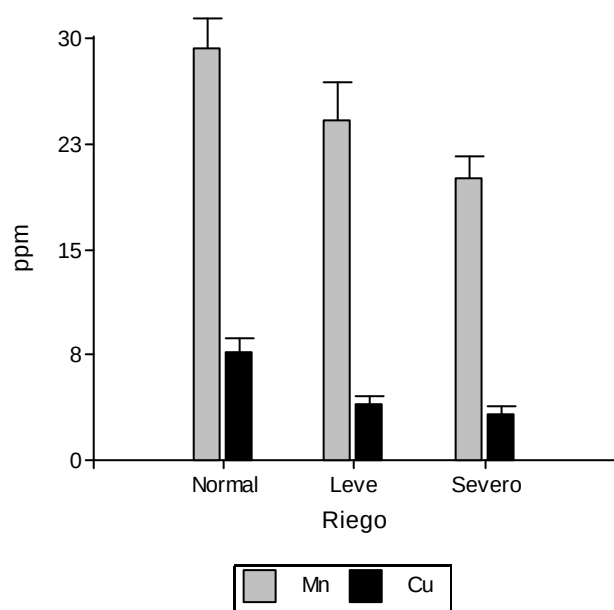


Figura 15. Contenido foliar de Mn y Cu según tratamiento de riego.

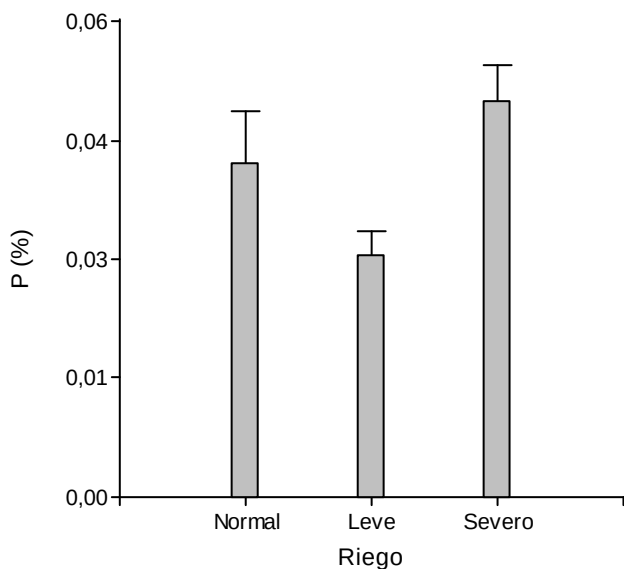


Figura 16. Contenido foliar de P según tratamiento de riego.

De manera similar, el contenido de nutrientes en la panoja no mostró diferencias entre los tratamientos de fertilización (Cuadro 12).

Cuadro 12. Niveles de significancia para fertilización, riego e interacción Fertilización x Riego sobre el contenido de nutrientes en la panoja.

Nutriente	Fertilización	Riego	Fertilización*Riego
N	n.s.	*	n.s.
P	n.s.	**	n.s.
K	n.s.	*	n.s.
Ca	n.s.	n.s.	n.s.
Mg	n.s.	n.s.	n.s.
Zn	n.s.	n.s.	n.s.
Mn	n.s.	n.s.	n.s.
Cu	n.s.	***	n.s.



En tanto, en la panoja el contenido de N ($p < 0,0131$; Figura 17), K ($p < 0,0258$; Figura 18) y Cu ($p < 0,0001$; Figura 19) disminuyó de manera significativa en los tratamientos con déficit hídrico, ya sea leve o severo. El contenido de P ($p < 0,0050$; Figura 20) sólo disminuyó de manera significativa en el tratamiento con déficit hídrico leve.

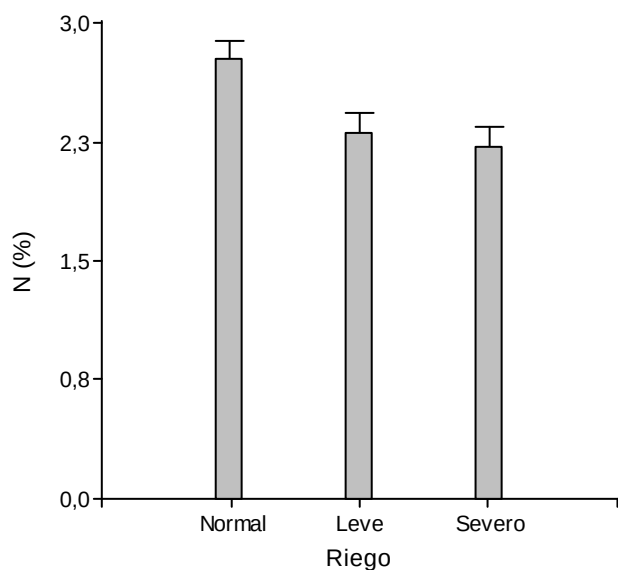


Figura 17. Contenido de N en la panoja según tratamiento de riego.

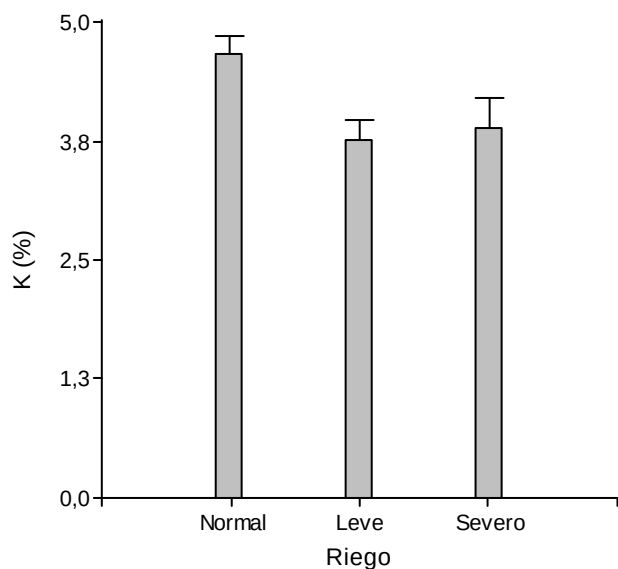


Figura 18. Contenido de K en la panoja según tratamiento de riego.

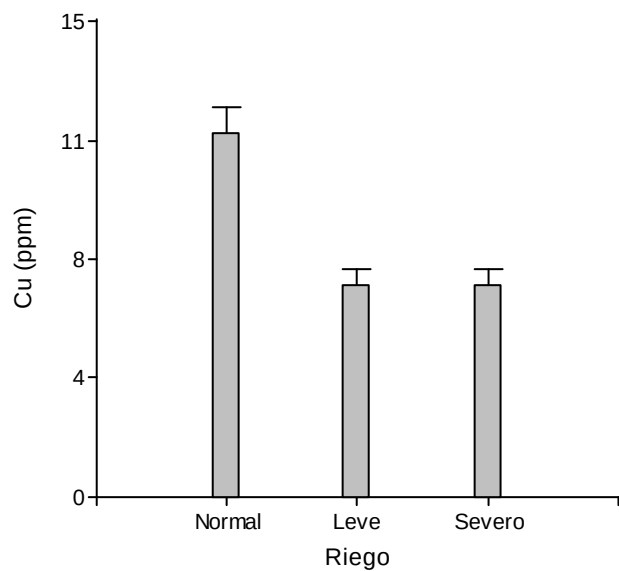


Figura 19. Contenido de Cu en la panoja según tratamiento de riego.

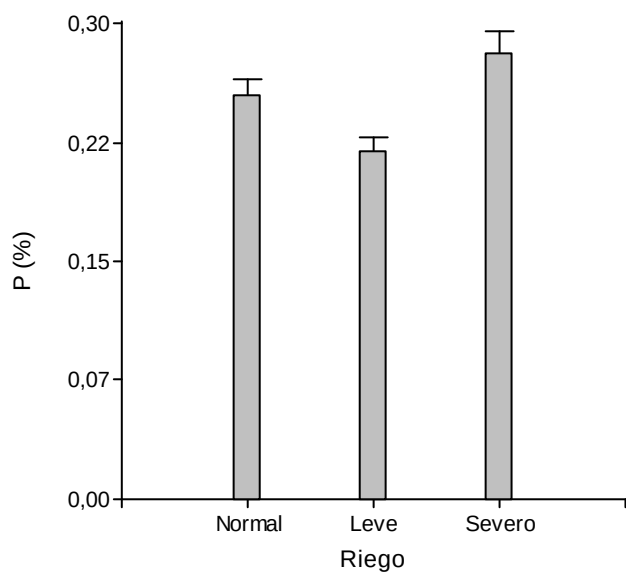


Figura 20. Contenido de P en la panoja según tratamiento de riego.



El contenido de nutrientes en las raíces no se vio afectado por los tratamientos de fertilización (Cuadro 13).

Cuadro 13. Niveles de significancia para fertilización, riego e interacción Fertilización x Riego sobre el contenido de nutrientes en las raíces.

Nutriente	Fertilización	Riego	Fertilización*Riego
N	n.s.	n.s.	n.s.
P	n.s.	n.s.	n.s.
K	n.s.	n.s.	n.s.
Ca	n.s.	*	n.s.
Mg	n.s.	**	n.s.
Zn	n.s.	n.s.	n.s.
Mn	n.s.	**	n.s.
Cu	n.s.	**	n.s.

El contenido de Ca ($p < 0,0474$; Figura 21) y Mg ($p < 0,0054$; Figura 21), Mn ($p < 0,0022$; Figura 22) y Cu ($p < 0,0004$; Figura 22) en las raíces disminuyó de manera significativa en los tratamientos con déficit hídrico.

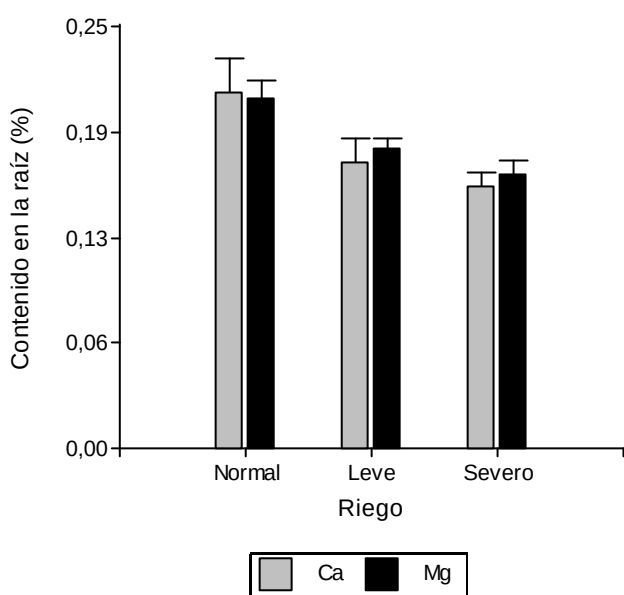


Figura 21. Contenido de Ca y Mg en la raíz según tratamiento de riego.

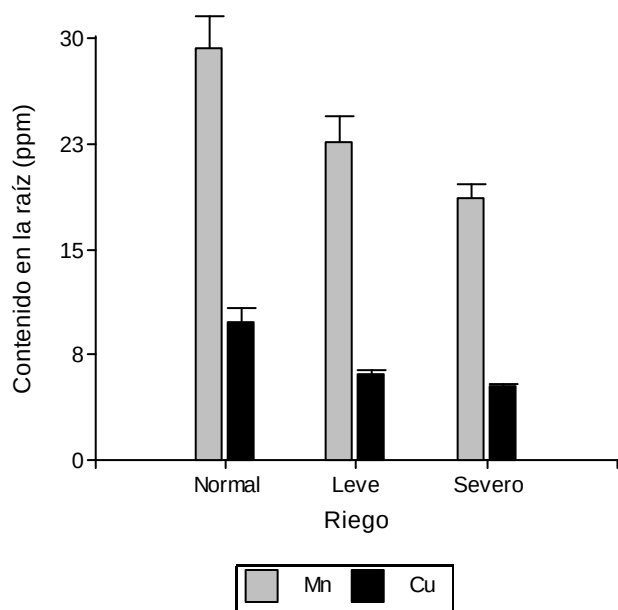


Figura 22. Contenido de Mn y Cu en la raíz según tratamiento de riego.

2.5.4. Eficiencia Uso del N (NUE).

La evaluación de la eficiencia del uso de N (NUE), determinada como kg de grano cosechado por kg de N aplicado, muestra una clara tendencia a disminuir en todos los genotipos a medida que aumenta la dosis de fertilización, en los ensayos realizados en Vallenar (Figura 23).

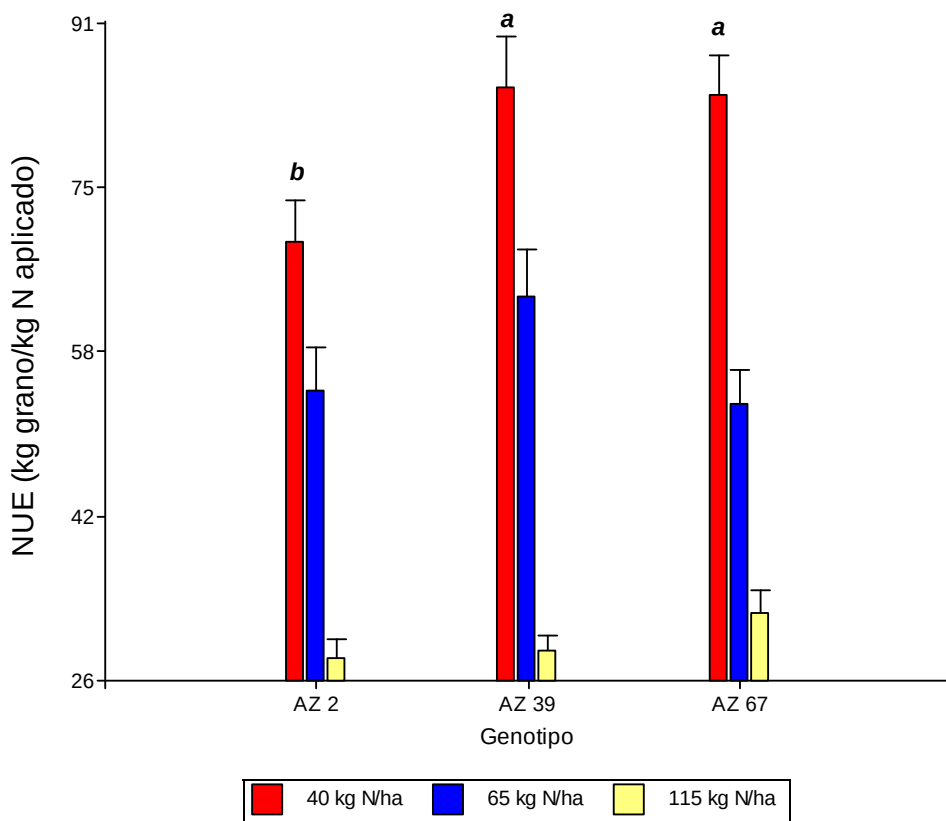


Figura 23. Eficiencia en el uso de N en los genotipos evaluados bajo tres dosis de fertilización nitrogenada.

* Las barras representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras diferentes sobre las columnas de una misma serie, indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El análisis por nivel de fertilización nitrogenada, sólo arroja diferencias significativas entre los genotipos cuando se evalúa la dosis de 40 kg N/ha ($p < 0,0218$), en donde los genotipos AZ 39, AZ 67 y AZ 2 muestran valores promedio de 85,56; 83,83 y 69,22 respectivamente (Cuadro 14).



Cuadro 14. Eficiencia en el uso de N en los distintos genotipos evaluados bajo las diferentes tasas de fertilización nitrogenada. Los valores corresponden al promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Dosis de fertilización (kg de N/ha)	Genotipo		
	AZ 2	AZ 39	AZ 67
	NUE (kg de grano/kg N aplicado)		
40	69,22 $\pm$ 4,22 b	84,56 $\pm$ 5,07 a	83,83 $\pm$ 3,78 a
65	54,59 $\pm$ 4,23 a	63,88 $\pm$ 4,72 a	53,24 $\pm$ 3,38 a
115	28,25 $\pm$ 1,86 a	28,87 $\pm$ 1,66 a	32,72 $\pm$ 2,10 a

2.5.5. Análisis de expresión en genes de interés.

Se realizaron análisis de expresión cuantitativa de genes, mediante la técnica de qPCR, que entrega información valiosa de los cambios de expresión en genes de interés como respuesta a los tratamientos realizados. Como objeto de estudio se utilizó la expresión de los genes analizados asociados con los genotipos AZ 2, AZ 39 y AZ 67 del Ensayo Factorial realizado en Vallenar, y se realizó un Análisis de componentes principales (PCA) para la expresión de los genes en estudio en los genotipos de interés (Figura 24).

Los dos factores principales representados por los ejes horizontal (mayor porcentaje de significancia) y vertical (menor significancia) explicaron la totalidad de la variación. Entre los genotipos AZ 39 y AZ 67, existió mayor expresión de los genes *ABA*, *HSP20*, relacionados con estrés hídrico, y *NRT1.11*, *NRT1.5* y *SNRK2* relacionados con transporte y percepción de Nitrógeno en el genotipo AZ 39. Por el contrario, los genes *PP2C*, *ABC625*, relacionados con estrés hídrico, y *GNL1.1* y *GNL1.3* relacionados con el metabolismo del Nitrógeno, se expresaron con mayor intensidad en el genotipo AZ 67.

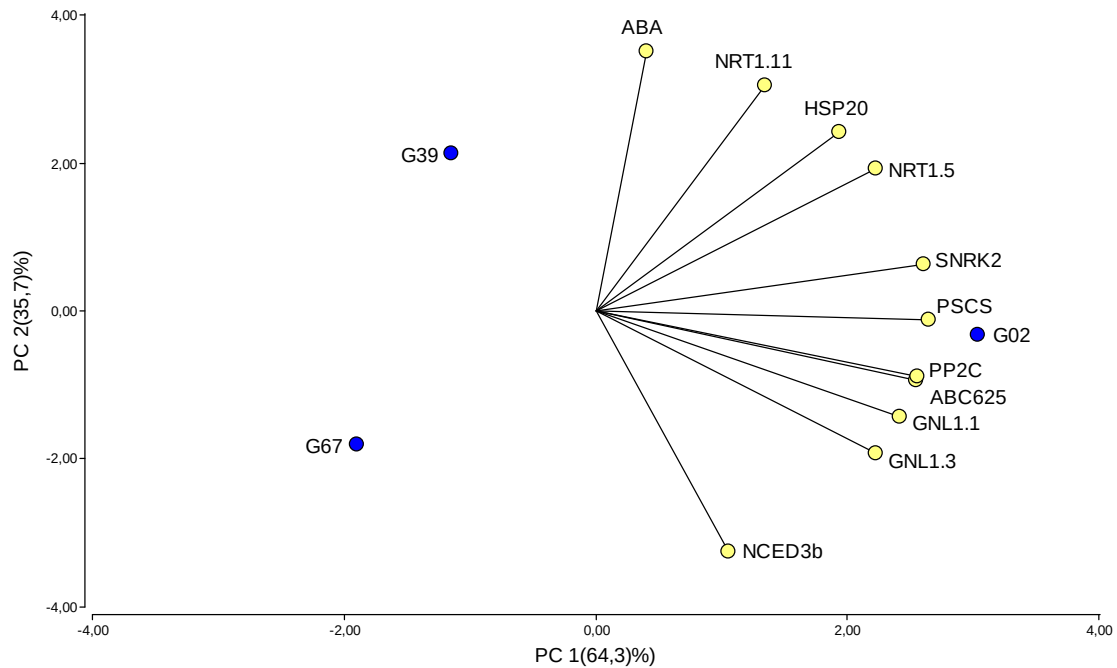


Figura 24. Análisis de componentes principales para la expresión de los genes en estudio en los genotipos de interés en ensayo factorial realizado en Vallenar.

Se destacó el comportamiento del genotipo AZ 2 en cuanto a la expresión de los genes estudiados, mientras que los genotipos AZ 39 y AZ 67 presentan un comportamiento más similar, al realizar un análisis de agrupamiento (Cluster, Figura 25).

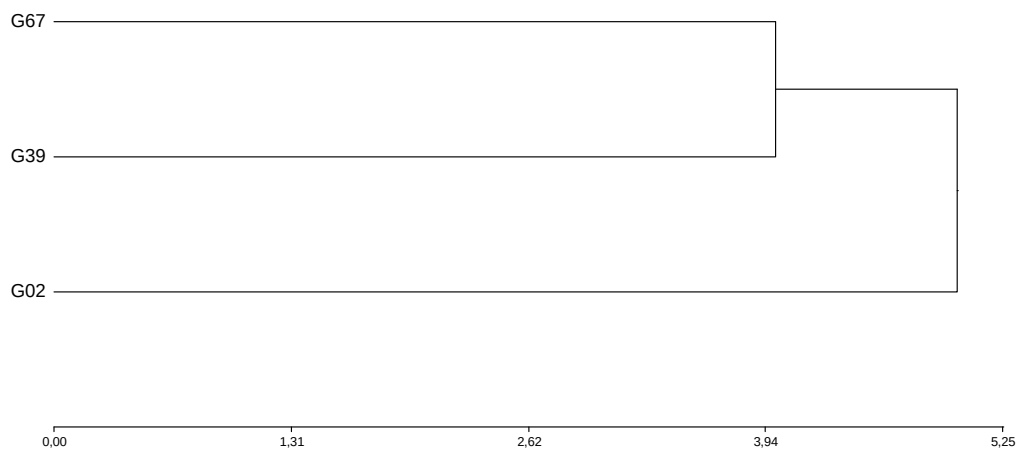


Figura 25. Análisis de Cluster, para agrupamiento de los genotipos en estudio, en relación a la respuesta de la expresión de los genes bajo las condiciones de Vallenar.



En el caso del genotipo AZ 2, la mayor expresión de los genes se asoció con los tratamientos de dosis alta de N con 75% ET y dosis media de N con 100% ET. La expresión de los genes *ABA*, *NCED3b*, y *GNL1.1*, *GNL1.3* se asoció mayoritariamente con los tratamientos con deficiencia de riego (eje Y) (Figura 26).

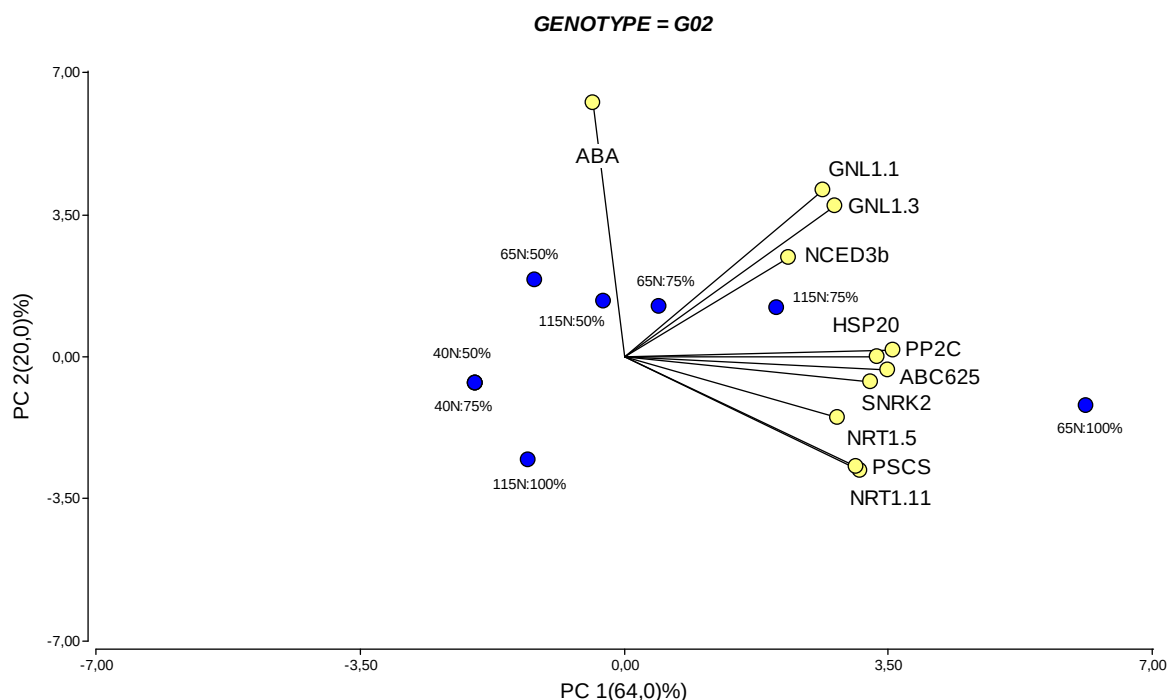


Figura 26. PCA genotipo AZ 2 con el efecto factorial de Nutrición Nitrogenada versus Riego.

Para el caso del genotipo AZ 39, el déficit hídrico se asoció preferentemente con la expresión de los genes relacionados con *ABA*, *HSP20*, *PP2C*, *ABC625* y *NRT1.11* (Figura 27). Al contrario del genotipo AZ 2, la correlación entre la expresión de los distintos genes fue menos significativa en la mayoría de los casos (Cuadros 15 y 16 respectivamente).

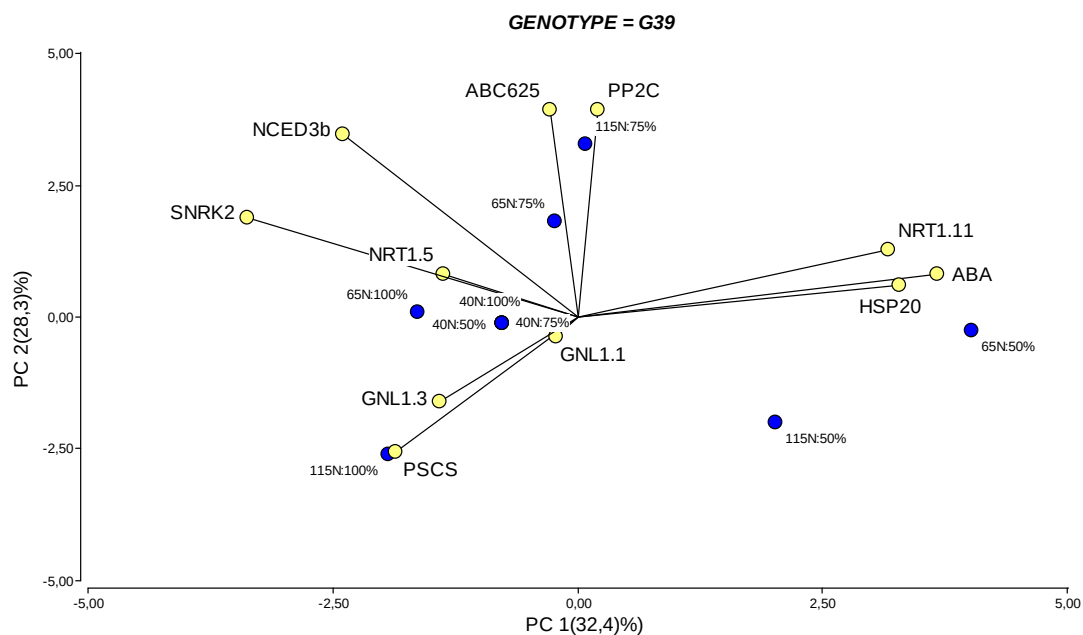


Figura 27. PCA genotipo AZ 39 con efecto factorial de Nutrición Nitrogenada versus Riego.

Cuadro 15. Matriz de correlación entre la expresión de los distintos genes en estudio en el genotipo AZ 2. Los valores indicados corresponden a los valores p del ANOVA.

	ABA	HSP20	ABC625	PP2C	PSCS	NRT1.5	NRT1.11	SNRK2	GNL1.1	GNL1.3
NCED3b	0.25	0.0019	0.0018	0.002	0.02	0.25	0.27	0.01	0.0026	0.01
ABA		0.54	0.46	0.39	0.01	0.41	0.02	0.67	0.01	0.01
HSP20			<0.001	<0.001	<0.001	0.0003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ABC625				<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
PP2C					<0.001	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
PSCS						<0.001	<0.001	<0.001	0.07	0.04
NRT1.5							<0.001	<0.001	0.09	0.0018
NRT1.11								<0.001	0.05	0.02
SNRK2									<0.001	<0.001
GNL1.1										<0.001



Cuadro 16. Matriz de correlación entre la expresión de los distintos genes en estudio en el genotipo AZ 39. Los valores indicados corresponden a los valores p del ANOVA.

	ABA	HSP20	ABC625	PP2C	PSCS	NRT1.5	NRT1.11	SNRK2	GNL1.1	GNL1.3
NCED3b	0.08	0.10	<0.001	<0.001	0.55	0.16	0.36	<0.001	0.76	0.94
ABA		<0.001	0.28	0.18	0.12	0.77	<0.001	0.02	0.20	0.65
HSP20			0.42	0.44	0.15	0.80	0.003	0.03	0.08	0.69
ABC625				<0.001	0.22	0.48	0.13	0.03	0.13	0.81
PP2C					0.10	0.64	0.08	0.23	0.61	0.71
PSCS						0.75	0.12	0.79	<0.001	<0.001
NRT1.5							0.83	0.0014	0.25	0.56
NRT1.11								0.13	0.73	0.58
SNRK2									0.95	0.64
GNL1.1										<0.001

En el genotipo AZ 67, el análisis de componentes principales sólo muestra como la expresión del gen *ABA*, se correlaciona de forma negativa con la tasa de riego. Sin embargo, no queda en evidencia una tendencia clara con los otros tratamientos de riego (Figura 28).

La correlación entre la expresión de los distintos genes y su significación se presenta en el Cuadro 17.

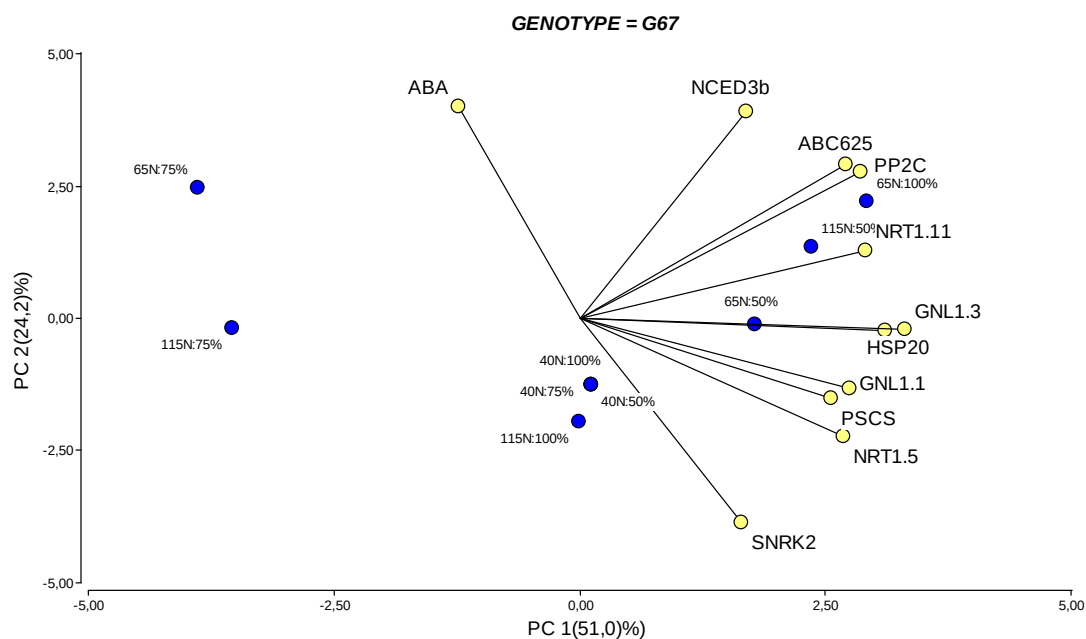


Figura 28. PCA genotipo AZ 67 con efecto factorial de Nutrición Nitrogenada versus Riego.

Cuadro 17. Matriz de correlación entre la expresión de los distintos genes en estudio en el genotipo AZ 67. Los valores indicados corresponden a los valores p del ANOVA.

	ABA	HSP20	ABC625	PP2C	PSCS	NRT1.5	NRT1.11	SNRK2	GNL1.1	GNL1.3
NCED3b	0.07	0.04	0.002	<0.001	0.92	0.98	0.02	0.33	0.64	0.02
ABA		0.004	0.45	0.52	0.49	0.20	0.09	<0.001	0.44	0.24
HSP20			0.0021	<0.001	0.07	0.04	<0.001	0.0015	0.01	<0.001
ABC625				<0.001	0.19	0.08	<0.001	0.96	0.06	0.0015
PP2C					0.02	0.05	<0.001	0.96	0.03	0.0013
PSCS						<0.001	0.24	0.23	<0.001	<0.001
NRT1.5							0.10	0.01	<0.001	<0.001
NRT1.11								0.05	0.19	0.0018
SNRK2									0.20	0.04
GNL1.1										<0.001



Con estos análisis fue posible identificar los impactos y cambios de expresión en genes asociados a respuestas típicas de estrés hídrico, y los mayores cambios producidos como respuesta a los factores nutrición nitrogenada, desde la percepción hasta transporte y metabolismo, y el impacto cuantitativo en el proceso dinámico de adaptación de los diversos genotipos evaluados. Con ello pudimos detectar rutas posibles de respuesta, dependientes de ABA, o independientes de ABA, y los cambios asociados a la percepción y transportadores involucrados en metabolismo del Nitrógeno, y ver que cada una de estas respuestas está influida de manera diferencial por el componente genético.



CAPÍTULO 3. ENSAYO DE JARDÍN DE GENOTIPOS.

El diseño utilizado para este ensayo fue de 170 parcelas individuales, conformadas por 4 hileras de 4 metros de largo por 2 metros de ancho. La superficie utilizada fue de 2.125 m², con dosis de siembra de 15 kg/Ha, tal como se presenta en la Figura 29.

Genotipo	AZ1	AZ2	AZ3	Morad	Verde	Chenn	Chilan	SAM1	Kina	Regalo	AZ28	AZ80	AZ101	AZ102	AZ104	AZ105	AZ107	AZ108	AZ111	AZ113
Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
Genotipo	AZ3	Chilan	Verde	SAM1	AZ1	Morad	Regalo	Chenn	Kina	AZ2	AZ125	AZ124	AZ123	AZ122	AZ121	AZ120	AZ118	AZ117	AZ115	AZ114
Parcela	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	140	139	138	137	136	135	134	133	132	131
Genotipo	Verde	AZ2	Chenn	Regalo	Chilan	8	AZ3	Kina	AZ1	Morad	AZ126	AZ127	AZ128	AZ129	AZ131	AZ132	AZ133	AZ134	AZ135	AZ136
Parcela	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
Genotipo	Kina	Regalo	AZ1	AZ3	Morad	Verde	Chilan	AZ2	SAM1	Chenn	AZ146	AZ145	AZ144	AZ143	AZ142	AZ141	AZ140	AZ138	AZ138	AZ137
Parcela	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	150	159	158	157	156	155	154	153	152	151
Genotipo	AZ1	AZ3	AZ4	AZ5	AZ6	AZ7	AZ8	AZ9	AZ10	AZ12	AZ147	AZ148	AZ149	AZ150	AZ151	AZ152	AZ153	AZ154	AZ155	AZ156
Parcela	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
Genotipo	AZ23	AZ22	AZ21	AZ20	AZ19	AZ18	AZ17	AZ16	AZ15	AZ14	AZ166	AZ165	AZ164	AZ163	AZ162	AZ161	AZ160	AZ158	AZ158	AZ157
Parcela	50	59	58	57	56	55	54	53	52	51	180	179	178	177	176	175	174	173	172	171
Genotipo	AZ24	AZ25	AZ26	AZ27	AZ28	AZ29	AZ30	AZ31	AZ32	AZ33	AZ157	AZ168	AZ169	AZ170	AZ171	AZ172	AZ173	AZ174	AZ175	AZ176
Parcela	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
Genotipo	AZ44	AZ43	AZ42	AZ41	AZ40	AZ39	AZ38	AZ37	AZ36	AZ35	AZ189	AZ185	AZ184	AZ183	AZ182	AZ181	AZ180	AZ179	AZ178	AZ177
Parcela	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	200	199	198	197	196	195	194	193	192	191
Genotipo	AZ45	AZ46	AZ47	AZ48	AZ49	AZ50	AZ51	AZ52	AZ53	AZ54	AZ187	AZ188	AZ189	AZ191	AZ192	AZ193	AZ194	AZ195	AZ232	AZ233
Parcela	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
Genotipo	AZ65	AZ64	AZ63	AZ61	AZ60	AZ59	AZ58	AZ57	AZ56	AZ55	AZ234									
Parcela	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	211									
Genotipo	AZ66	AZ68	AZ69	AZ70	AZ71	AZ72	AZ73	AZ74	AZ76	AZ78										
Parcela	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110										
Genotipo	AZ69	AZ88	AZ87	AZ86	AZ85	AZ84	AZ83	AZ82	AZ81	AZ79										
Parcela	120	119	118	117	116	115	114	113	112	111										

Figura 29. Diseño ensayo Jardín de Genotipos seleccionados en Vallenar.

Se cosechó por separado 10 plantas (marcadas en Panojamiento), las cuales fueron consideradas para evaluar fenología, altura de planta y rendimiento individual. El resto de las plantas en la parcela (4 líneas de cultivo) se cosechó por separado (ver Imagen 5A: Cosecha de parcelas jardín de genotipos) y procesada y analizada post-trillado (ver Imagen 5B: Trilla mecanizada de parcelas jardín de genotipos).

Una vez realizada la cosecha o trillado del 100% de las parcelas, se cuenta con los 170 genotipos promisorios respecto a la adaptación de la quínoa a las condiciones de Atacama, dada la variabilidad registrada en cuanto a los parámetros evaluados.

Las evaluaciones realizadas correspondieron a evaluaciones intermedias; estados fenológicos y caracteres morfométricos de altura de planta y evaluaciones de rendimiento. En el Cuadro 18 se presentan las variables evaluadas y sus indicadores.



Imagen 5. A: Cosecha de parcelas jardín de genotipos. B: Trilla mecanizada de parcelas jardín de genotipos.

Las evaluaciones realizadas correspondieron a evaluaciones intermedias; estados fenológicos y caracteres morfométricos en altura de planta y evaluaciones finales (carácter de rendimiento). Estos caracteres medidos fueron similares a los determinados en las secciones previas, y se sigue el mismo protocolo de manejo desde siembra a cosecha. Esto nos permite comparar con menor grado de variación posible, considerando que en los ensayos particulares se modifican algunos factores de interés, hasta ahora descritos la época de siembra, y los componentes de manejo de Fertilización y Riego.



Cuadro 18. Variables evaluadas y sus indicadores.

Variables		Indicador
Clasificación	Nombre	
Estados Fenológicos	Emergencia	Número de días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado la emergencia.
	Ramificación	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado la ramificación.
	Panojamiento	Número de días desde la emergencia hasta 50% de plantas con la primera flor.
	Floración o antesis	Número de días desde la emergencia hasta 50% de plantas con la primera panoja madura.
	Grano lechoso	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado el grano lechoso.
	Grano pastoso	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado el grano pastoso.
	Madurez fisiológica	Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan alcanzado la madurez fisiológica.
Productividad primaria	Altura de planta	Altura final en Centímetros.
Rendimiento y sus Componentes	Rendimiento	Peso de semillas obtenidas en seis metro lineal, proyectado a ha.



3.1. Resultados Jardín de Genotipos.

3.1.1. Estados fenológicos.

Los estados fenológicos para los genotipos analizados, se mostraron precoces en la mayoría de los genotipos, promediando 3 meses en completar el ciclo. Considerando antecedentes preliminares reportados por diferentes autores, se describe que el ciclo vegetativo de las variedades transcurre en un periodo de 4 a 5 meses (Berti et al. 1997; FAO 2001; SICA 2001; Cerón 2002). Al considerar que la época de siembra fue tardía (inicio de diciembre), indicaría que la adaptación al acortar ciclo vegetativo fue determinante en la disminución del ciclo completo. Esta disminución o acortamiento del ciclo estaría asociado a las condiciones climáticas en el periodo del cultivo, en donde las temperaturas alcanzaron valores sobre los 25°C en el ciclo del cultivo y con humedad relativa de 69%.

Los estados fenológicos desde emergencia a ramificación presentaron baja variabilidad; la emergencia se presentó a los 3 días para todos los genotipos, dos hojas verdaderas en promedio fue a los 9 días, cuatro hojas verdaderas a los 15 días, 21 días para 6 hojas verdaderas y ramificación a los 28 días. En los estados fenológicos posteriores (desde panojamiento a madurez fisiológica), sí se encontraron mayores diferencias, en cuanto al promedio de fenología y varianza respectiva (Cuadro 19).

Cuadro 19. Promedio de duración en las Etapas Fenológicas de todos los genotipos del Jardín estudiados en Vallenar (DDS días después de siembra).

Fenología (DDS)										
Estado	Emerg	2 Hojas	4 Hojas	6 Hojas	Ramific	Panoja	Floración	Grano Lechoso	Grano Pastoso	Madurez Fisiológica
Promedio	3	9	15	21	28	37	44	62	74	90
Desviación Estándar	0	0,82	1,23	1,82	2,35	1,65	4,75	4,91	5,32	5,59



La progresión de los estados fenológicos para todos los genotipos se presenta en la Figura 30, en donde se observa que los cambios más significativos se registraron a partir de floración (representados por puntos rojos), y se incrementaron en la fase de Madurez Fisiológica (puntos amarillos). La madurez fisiológica se presentó desde el día 84 al 118 después de siembra.

Si se consideran rangos desde siembra a madurez fisiológica, los genotipos podrían agruparse en:

- muy precoz (84 a 95 DDS);
- semi-precoz (96 a 105 DDS);
- precoz (106 a 118 DDS).

Estos resultados muestran que el 86% de los genotipos fueron *muy precoces* en el ensayo realizado en una siembra tardía, el 16% *semi-precoces* y solo el 1% *precoz*. Ante las condiciones edafoclimáticas del Centro Experimental Huasco de INIA en Vallenar, los genotipos presentaron un marcado acortamiento del ciclo de cultivo.

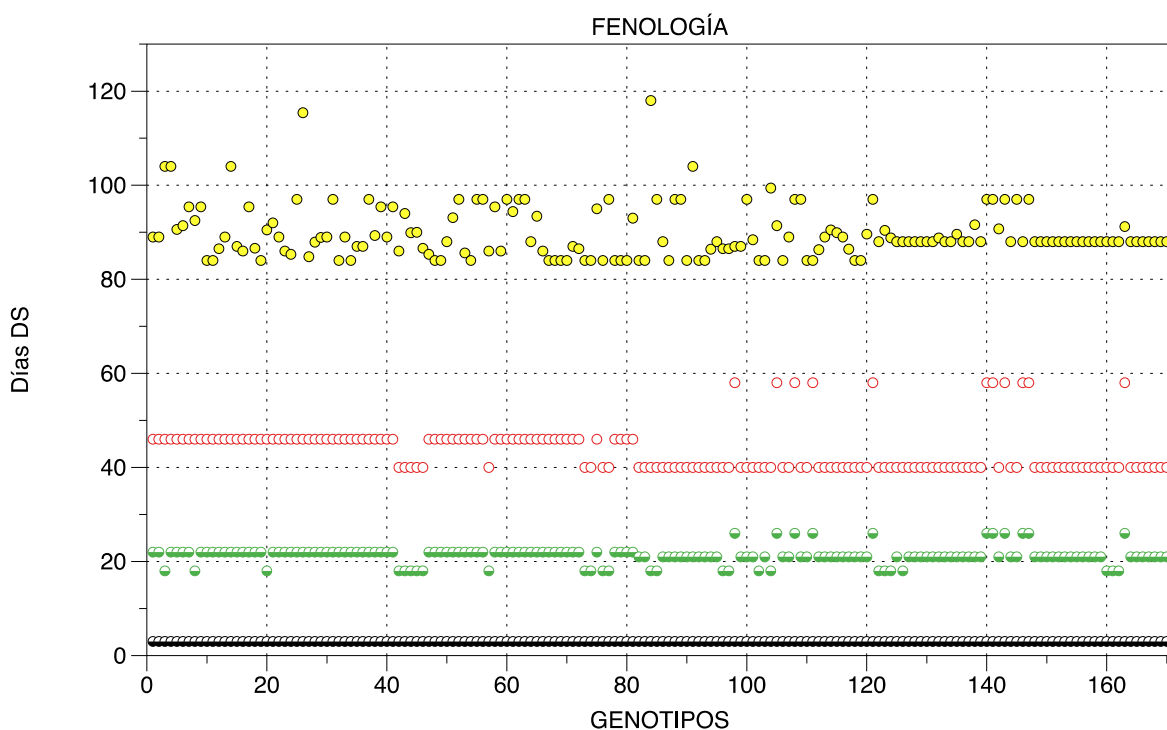


Figura 30. Etapas Fenológicas por Genotipo (Días DS), indicando Germinación (negro), 6 hojas verdaderas (verde), Floración (rojo), y Madurez Fisiológica (amarillo). Cada punto a lo largo del eje vertical representa un genotipo o línea seleccionada.



3.1.2. Altura de Plantas.

La altura que alcanzaron las plantas en madurez fisiológica fue en promedio de 164,6 cm, siendo la menor altura 110 cm en los Genotipos AZ 82 y AZ 189, y las mayores cercanas a 230 cm en Genotipo AZ 20 y la mayor altura registrada 248,3 cm promedio del Genotipo AZ 114.

La medición de altura de plantas en los Genotipos se presenta en la Figura 31, en donde se pudo observar que la mayor frecuencia de alturas se presentó en plantas con promedio entre 150-160 cm, con una frecuencia cercana al 30%. Considerando ambas alturas promedio dan cuenta sobre el 60% de la distribución de altura en los genotipos de quínoa estudiados.

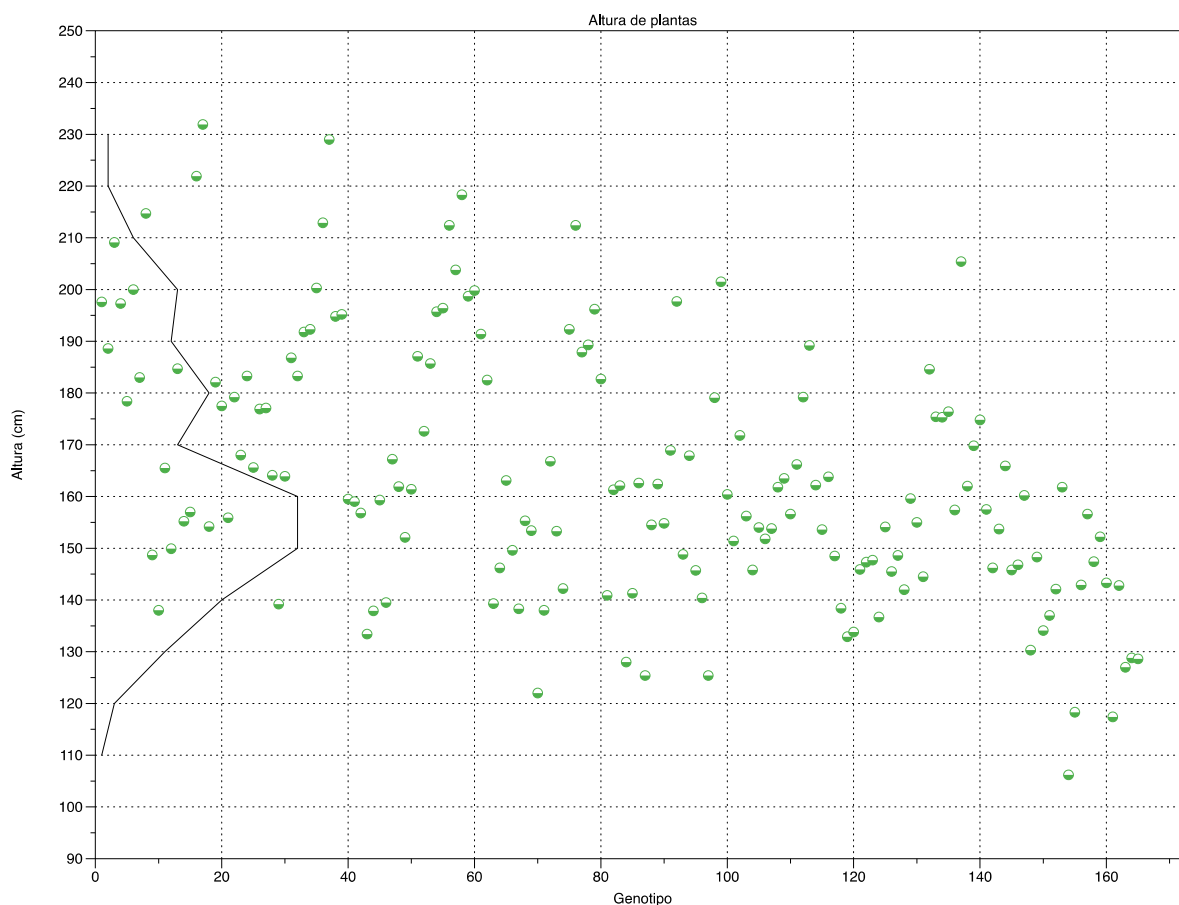


Figura 31. Altura promedio por Genotipo, indicando distribución de frecuencias por altura (línea). Cada punto representa el promedio de 10 plantas individuales.



3.1.3. Rendimientos.

Los resultados en las parcelas cosechadas mostraron rendimientos que registraron un promedio de peso de 2.760 (g/parcela), y el rango de producción se movió desde 1.000 g/parcela, hasta sobre los 5.000 g en el genotipo AZ 148. Cabe señalar que el número de plantas promedio por parcela fue de 306,7, con una producción individual de grano de 13,99 g/planta. Los resultados de las mediciones se muestran en la Figura 32, en la cual se representan los rendimientos obtenidos en las parcelas individuales, y las mediciones de los respectivos promedios de rendimiento en plantas individuales.

Puesto que se midió una parcela experimental con una superficie de 8 m² por genotipo, al expresar el rendimiento por parcela se pudo determinar una variabilidad importante en este parámetro productivo, en donde el promedio de todos los genotipos alcanzó los 3.450 Kg/ha, existiendo rendimientos basales superiores a los 1000, hasta un máximo de 6.500 kg/ha en el genotipo AZ 148 (Figura 33 Rendimiento de genotipos).

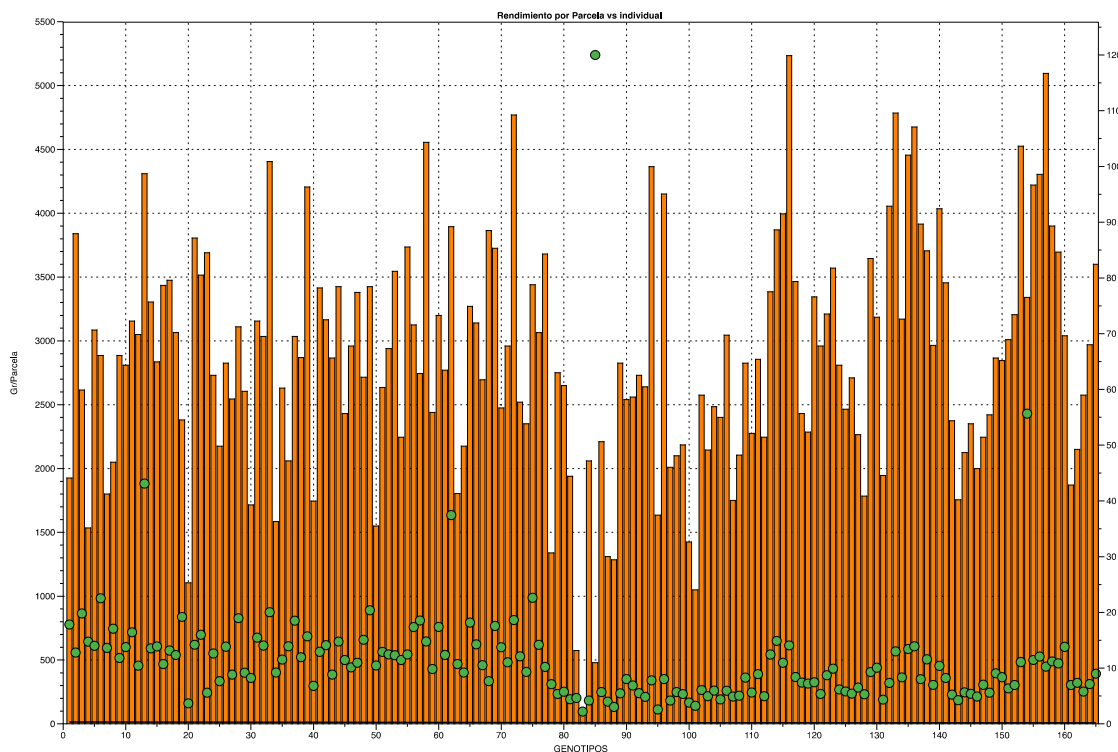
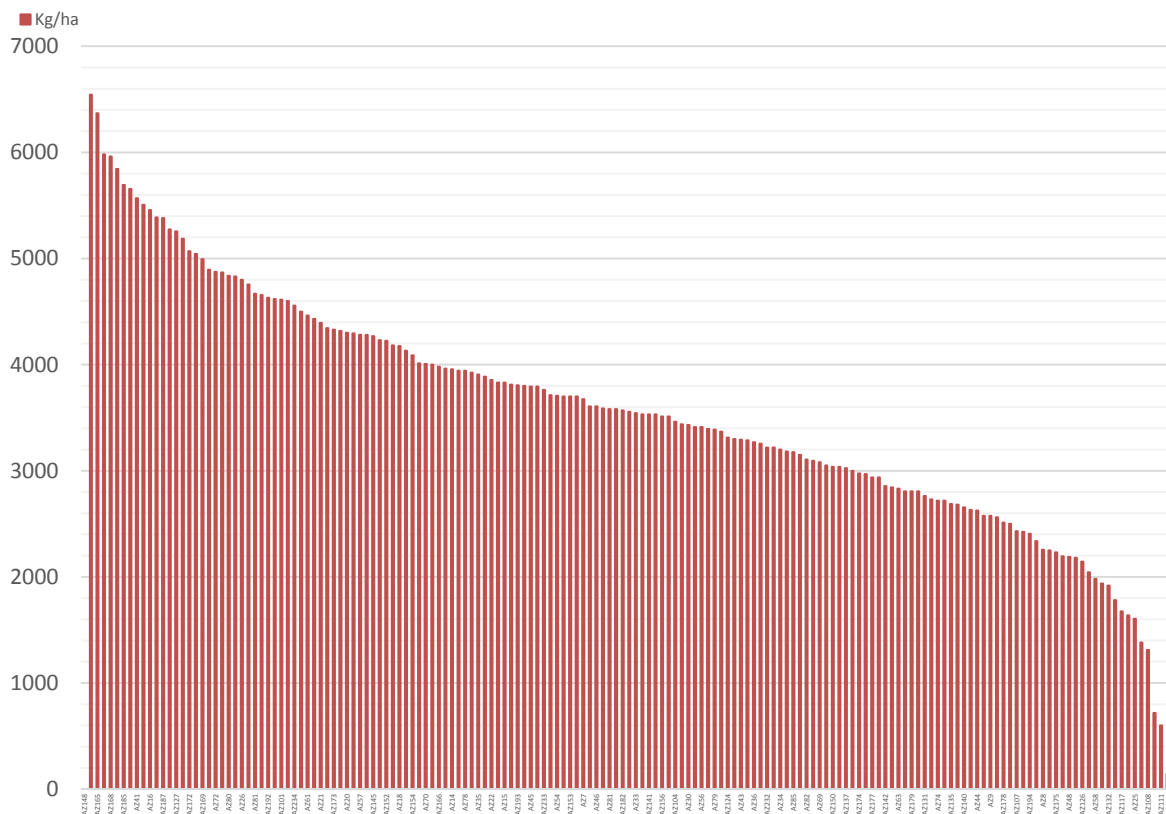


Figura 32. Producción por cada parcela en Genotipos individuales (barras), y promedio de producción por planta en cada Genotipo, también expresado en gramos (escala derecha). Cada punto verde representa promedio de 10 plantas individuales.



5^v₁, ~~E~~ E^v₁₋₁#01B#^v₁₁₋₁₀1#^v°""H₁°, 1#



Estos rendimientos en más de 160 genotipos muestran claramente el potencial productivo alcanzado en la condición de Vallenar, los cuales se consideran altamente productivos dadas las condiciones particulares del clima y suelo de la zona. Además cabe destacar que estos rendimientos fueron obtenidos en una siembra de verano, por lo cual éstos podrían incluso aumentar basados en los resultados obtenidos previamente en los ensayos de



época de siembra, los cuales indican que el mayor rendimiento productivo se obtiene en siembras a salida de invierno, correspondiendo a fines de junio en Vallenar.

Considerando los resultados del jardín de Genotipos, fue posible identificar varios genotipos por sobre este promedio, lo cual estaría indicando que dichos genotipos respondieron muy bien desde el punto de vista del potencial productivo, a las condiciones edafoclimáticas locales y por tanto se adaptan de manera óptima a las condiciones de cultivo en Atacama. Los Genotipos que obtuvieron los rendimientos proyectados más altos, se presentan en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Rendimientos obtenidos en los 10 Genotipos más productivos. Promedios de altura y peso de plantas individuales (n=10). Parámetros medidos en parcelas individuales.

Genotipo	Altura (cm)	Peso g/planta	Número pl/parcela	Peso g/parcela	Rendimiento Kg/ha
AZ 148	163,8	14	372	5.235	6.543,75
AZ 189	156,6	10	496	5.095	6.368,75
AZ 165	175,4	13	368	4.785	5.981,25
AZ 84	166,8	19	256	4.770	5.962,5
AZ 168	157,4	14	336	4.675	5.843,75
AZ 68	218,3	15	308	4.555	5.693,75
AZ 185	161,8	11	408	4.525	5.656,25
AZ 167	176,4	13	332	4.455	5.568,75
AZ 41	191,8	20	220	4.405	5.506,25
AZ125	167,9	8	560	4.365	5.456,25



CAPÍTULO 4. Composición Nutricional y Funcional.

La quínoa (*Chenopodium quinoa* W.) es un cultivo anual que destaca por su tolerancia a diversos factores de estrés ambiental, tales como sequía, salinidad y baja fertilidad de suelos. Asimismo, se destaca por su gran valor alimenticio con un elevado contenido de proteína y su balance de aminoácidos, siendo uno de los alimentos más completos entre las plantas. Existe un enorme potencial para la introducción de quínoa en regiones con necesidades de diversificación de cultivos, y con problemas de disponibilidad hídrica, tanto para la generación de proteína como de otros compuestos funcionales, gracias a las características de sus semillas como fuente alimenticia.

4.1. Análisis Proximales en Quínoa.

Las determinaciones que se realizan más frecuentemente para conocer la composición de los alimentos incluyen la determinación de humedad, cenizas, extracto etéreo (grasa cruda), proteína total, fibra y carbohidratos, en un protocolo conocido como Análisis Proximal. Asimismo, dependiendo del objetivo del análisis, resultan importantes las determinaciones relacionadas con la caracterización de algún grupo de nutrientes en particular, tal es el caso del perfil de aminoácidos en proteínas, el perfil de ácidos grasos o el perfil de azúcares.

Los análisis realizados dan cuenta de la determinación a 95 líneas seleccionadas, los cuales fueron orientados a determinando Parámetros Proximales que incluyeron materia seca, proteína, fibra cruda, contenido graso, cenizas y carbohidratos.

1. **Materia seca:** Por medio de la técnica de secado en estufa a 105°C, se determinó la cantidad de humedad presente en una muestra de alimento, para obtener a partir del valor de humedad el porcentaje de materia seca que contiene la muestra.
2. **Proteína:** A través del método Kjeldhal, el nitrógeno de la proteína y otros compuestos fueron transformados a sulfato de amonio por digestión ácida con ácido sulfúrico en ebullición. El ácido digerido es enfriado, diluido con agua, y alcalinizado fuertemente con hidróxido de sodio. El amoníaco es liberado y destilado en una solución con ácido bórico. La solución de amoníaco con ácido bórico es titulada con ácido sulfúrico estandarizado.
3. **Fibra Cruda:** A través del sistema Fibertec, en donde la muestra extraída con éter y libre de Humedad es digerida primero con una solución de ácido débil y luego con una solución de base débil. El residuo es colectado en un crisol filtrante. La pérdida de peso después de la calcinación es denominada fibra cruda.



4. **Contenido Graso:** A través del método extracto etéreo, Sistema Soxtec, en donde el éter es continuamente volatilizado y condensado haciéndolo pasar a través de la muestra extrayendo materiales solubles en éter. El extracto es colectado en un vaso. Cuando el proceso se completa, el éter es destilado y colectado en otro compartimiento y la grasa cruda remanente es secada y pesada.
5. **Ceniza:** La determinación de cenizas es referida como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento a 500-550°C por un mínimo de tres horas.

4.2. Determinación de Perfil de ácidos grasos.

Los ácidos grasos metilados con hidróxido de potasio en metanol (2M), fueron separados y cuantificados por cromatografía gaseosa con detector FID en columna capilar de fase reversa. Utilizando el método publicado por el Instituto de Salud pública de Chile sub-departamento Laboratorios del Ambiente, con algunas modificaciones.

(http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente%20pdf/Ac_grasos_transGC.pdf)

4.3. Determinación de Polifenoles Totales.

El método utilizado se basó en la extracción de los componentes menores polares de naturaleza biofenólica directamente a partir de la quínoa molida sin procesar, mediante una solución metanólica y su posterior cuantificación mediante Espectrofotómetro UV a 760 nm, utilizando ácido Gálico como curva patrón. El contenido total de polifenoles se expresa en mg Acido Gálico/kg de ácido Gálico.

4.4. Capacidad Antioxidante.

El método utilizado fue el ensayo de decoloración del catión radical α -a-difenil- β -picrilhidrazilo (DPPH $\cdot$); para cuantificar la capacidad captadora de radicales libres de los extractos se determinó el grado de decoloración que provocan sus componentes a una solución metanólica de DPPH (20 mg/L) mediante el método de Brand-Williams, con algunas modificaciones, y el resultado se expresa como mg Trolox/kg de muestra.

La composición del valor nutritivo de la Quínoa Atacameña (valor promedio para 95 genotipos en estudio) en comparación con otros alimentos como carne, huevo, queso y leche se presenta en el Cuadro 21 y la comparación con cereales se presenta en el Cuadro 22.



Componentes	Quínoa Atacameña	Carne (vacuno, lomo liso)	Huevo (entero)	Queso (gouda)	Leche Vacuna	Leche Humana
Proteínas (g/100g)	20.3	23.0	13.5	24.9	3.2	1.32
Grasa (g/100g)	4.0	5.6	10.0	25.6	3.2	3.9
Carbohidratos (g/100)	60.4	0.6	4.0	5.2	5.1	7.4
Potasio (mg/100g)	1.8	523	140	71	149.5	51
Hierro (mg/100g)	1.68	5.5	2.0	0.6	0.07	-

Cuadro 22. Composición y valor nutritivo de Quínoa Atacameña en comparación con cereales.

Componentes	Quínoa Atacameña	Arroz	Avena	Cebada	Maicena	Maíz
Proteínas (g/100g)	20.3	6.4	9.6	10.6	0.6	10.6
Grasas (g/100g)	4.0	0.8	5.2	2.0	0.2	4.5
Carbohidratos (g/100g)	60.4	79.7	57.3	68.5	86.7	68.0
Potasio (mg/100g)	1.8	46	-	-	1.5	-
Hierro (mg/100g)	1.68	2.0	4.9	4.1	-	3.2

59



Cuadro 23. Análisis Proximales en genotipos de quínoa cultivados en Vallenar.

Genotipo AZ	M.S 105°C (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Contenido Graso (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos (%)
1	89,3	10,7	4,4	18,4	3,6	3,0	59,9
2	87,0	13,0	5,0	20,1	3,1	2,8	56,0
3	90,7	9,3	4,8	18,9	4,3	3,5	59,2
4	88,4	11,6	3,8	18,2	3,4	2,3	60,7
5	89,6	10,4	4,3	17,6	3,4	3,0	61,3
6	89,5	10,5	3,8	16,8	3,9	2,7	62,3
7	89,7	10,3	4,3	18,6	3,1	3,3	60,4
9	89,7	10,3	4,0	18,2	3,4	2,4	61,7
10	90,4	9,6	5,0	16,7	4,6	2,9	61,2
11	86,2	13,8	4,6	16,8	1,7	2,1	61,0
12	89,2	10,8	3,9	17,7	5,8	2,8	59,0
14	89,4	10,6	4,9	17,9	3,4	3,4	59,8
15	89,4	10,6	3,8	17,0	3,9	2,5	62,2
16	89,6	10,4	3,9	17,8	4,1	2,1	61,7
17	89,7	10,3	4,5	17,3	2,7	2,9	62,3
18	89,1	10,9	3,9	19,0	5,2	4,7	56,3
19	89,3	10,7	3,8	17,5	4,7	5,6	57,7
20	89,2	10,8	3,8	17,5	4,6	3,0	60,3
21	89,0	11,0	3,6	16,6	4,2	5,2	59,4
22	89,4	10,6	3,5	18,0	4,1	3,8	60,0
23	89,3	10,7	3,6	17,2	4,2	3,9	60,4
24	89,7	10,3	3,6	18,3	4,6	2,6	60,6
25	89,0	11,0	3,6	16,6	3,4	2,7	62,7
26	90,6	9,4	4,0	18,6	4,8	2,6	60,6
27	89,1	10,9	4,3	18,1	3,2	3,8	59,7
29	90,1	9,9	3,8	18,2	4,0	2,8	61,3
30	88,9	11,1	3,5	16,8	4,4	2,7	61,5
31	88,9	11,1	3,9	18,9	4,1	2,3	59,7
32	89,9	10,1	3,8	17,3	4,4	2,2	62,2
33	89,5	10,5	4,0	18,4	4,1	2,3	60,7
34	89,0	11,0	3,5	17,3	4,7	2,8	60,7
35	89,3	10,7	4,0	17,4	4,7	2,9	60,3
36	89,0	11,0	4,4	17,4	3,3	3,0	60,9
37	88,8	11,2	3,9	17,1	4,5	2,6	60,7
38	89,3	10,7	3,9	16,9	3,4	2,7	62,4
39	90,3	9,7	3,8	16,2	3,8	2,5	64,0
40	89,6	10,4	3,4	17,3	4,6	2,3	62,0
41	89,1	10,9	3,9	17,6	5,2	2,8	59,6
42	88,9	11,1	3,5	18,2	3,7	2,0	61,5
43	89,6	10,4	4,7	18,5	3,6	3,1	59,7



Cuadro 24. Análisis Proximales en genotipos de quínoa cultivados en Vallenar (Continuación).

Genotipo AZ	M.S 105°C (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Contenido Graso (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos (%)
44	89,5	10,5	4,4	19,1	4,1	3,1	58,8
45	90,9	9,1	5,2	18,6	4,7	3,5	58,9
46	89,2	10,8	3,9	17,6	4,6	2,6	60,5
47	90,9	9,1	5,3	19,6	4,7	3,1	58,2
48	90,5	9,5	4,3	17,5	4,1	2,9	61,7
49	90,5	9,5	5,2	17,3	5,3	3,1	59,6
50	89,9	10,1	3,8	17,4	4,1	3,3	61,3
51	89,0	11,0	3,8	16,9	4,3	4,9	59,1
52	90,4	9,6	4,4	17,3	4,6	2,8	61,3
53	89,8	10,2	5,1	17,4	3,6	2,6	61,1
54	90,3	9,7	4,9	18,1	4,4	4,3	58,6
55	90,0	10,0	5,5	17,5	4,0	2,9	60,1
56	89,2	10,8	4,0	18,3	5,1	2,9	58,9
57	90,4	9,6	5,1	17,4	3,3	3,0	61,6
58	89,4	10,6	4,5	17,4	4,2	2,9	60,4
59	90,1	9,9	4,4	18,1	4,2	2,5	60,9
60	89,8	10,2	5,0	18,4	4,7	2,6	59,1
61	89,2	10,8	4,0	18,4	5,3	4,1	57,4
62	87,3	12,7	5,4	18,1	4,0	2,7	57,1
63	89,0	11,0	4,3	18,1	3,9	3,0	59,7
64	90,3	9,7	4,4	18,0	4,2	3,0	60,7
65	89,6	10,4	4,5	17,5	4,3	3,2	60,1
66	88,9	11,1	3,8	17,7	4,2	2,6	60,6
67	87,1	12,9	5,0	17,9	4,5	2,7	57,0
68	89,6	10,4	4,8	16,9	5,4	2,9	59,6
69	90,2	9,8	4,8	17,3	4,0	3,1	61,0
70	89,8	10,2	5,6	18,2	4,1	3,0	58,9
71	89,6	10,4	4,2	18,0	3,9	2,2	61,3
72	89,7	10,3	4,9	18,1	3,9	2,6	60,2
73	90,1	9,9	4,6	17,4	3,4	3,0	61,7
74	89,3	10,7	4,4	18,9	3,8	2,6	59,6
76	89,9	10,1	4,8	18,2	3,6	2,8	60,5
77	86,1	13,9	4,3	18,3	1,2	2,0	60,3
78	89,2	10,8	4,0	17,5	5,2	4,4	58,1
79	90,0	10,0	4,8	17,4	3,6	3,8	60,4
81	89,4	10,6	4,1	17,5	2,6	2,5	62,7
82	90,1	9,9	4,9	17,3	3,7	4,2	60,0
83	90,0	10,0	4,8	15,2	4,4	2,8	62,8
84	90,3	9,7	4,9	16,9	4,4	2,8	61,3
85	89,8	10,2	4,1	17,6	4,2	2,9	61,0



Cuadro 25. Análisis Proximales en genotipos de quínoa cultivados en Vallenar (Continuación).

Genotipo AZ	M.S 105°C (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Contenido Graso (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos (%)
86	90,0	10,0	4,3	18,1	4,7	2,9	60,0
87	89,9	10,1	4,1	18,0	3,6	2,9	61,3
88	91,1	8,9	4,9	20,3	3,8	2,9	59,2
89	89,6	10,4	5,6	20,3	4,0	3,8	55,9
91	90,8	9,2	4,8	17,5	4,2	2,9	61,4
92	88,7	11,3	5,4	17,2	4,6	3,2	58,3
93	89,9	10,1	4,2	16,8	4,1	2,9	61,9
94	90,6	9,4	4,5	15,8	3,8	2,9	63,6
95	89,5	10,5	3,9	15,8	4,2	3,1	62,5
96	89,4	10,6	4,3	14,9	3,6	2,4	64,2
100	90,2	9,8	4,7	16,0	3,5	2,8	63,2
103	85,7	14,3	4,5	17,7	3,0	4,0	56,5
110	90,3	9,7	5,0	16,1	3,8	2,9	62,5
112	90,0	10,0	4,8	16,6	3,8	3,1	61,7
196	88,1	11,9	5,0	16,3	4,3	3,2	59,3
PROMEDIO FINAL	89,5	10,5	4,4	17,6	4,0	3,0	60,4

De los resultados obtenidos en los genotipos analizados, éstos presentaron un promedio de 89,5% de materia seca, lo que arroja un valor de 10,5% de humedad en las muestras. Además presentaron 4,4 % de cenizas, 17,6 % de proteína, 4% de contenido graso, 3% de Fibra cruda y un 60,4% de carbohidratos en promedio.

Sin embargo, se encontraron genotipos que se diferenciaron por sobre los promedios, destacándose algunos genotipos en más de un parámetro:

Cenizas > 5%. Genotipos: 2, 10, 45, 47, 49, 53, 55, 57, 60, 62, 67, 70, 89, 110 y 196. Destacándose los **genotipos 70 y 89** con 5.6%. Este contenido indica el contenido de minerales presente en una muestra, por lo tanto estos dos últimos genotipos serían los que contienen mayor cantidad de minerales.

Proteína > 19%. Genotipos: 2, 18, 44, 47, 88 y 89. Destacándose los genotipos **88 y 89** con un 20.3%. La proteína es de vital importancia en los alimentos, tan solo el huevo tiene 14%, el queso 18% y la leche de vaca 3.5%, por lo que estos genotipos superan el porcentaje de contenido de proteína (Informe Agroalimentario, 2009 MDRT-Bolivia).

Fibra Cruda > 5%. Genotipos **19 y 21**. Ambos genotipos superan el 5% y coinciden que su mojuelo es de color rojo.



Contenido Graso > 5%. Genotipos: 12, 18, 41, 49, 56, 61, 68, 78. Destacándose el genotipo **12** con un 5.8% de grasa.

Carbohidratos > 63%. Genotipos: 39 y 96, destacándose el 96 con 64.2%.

En la siguiente Figura se presenta la composición promedio en las semillas de quínoa crecidas en Vallenar.

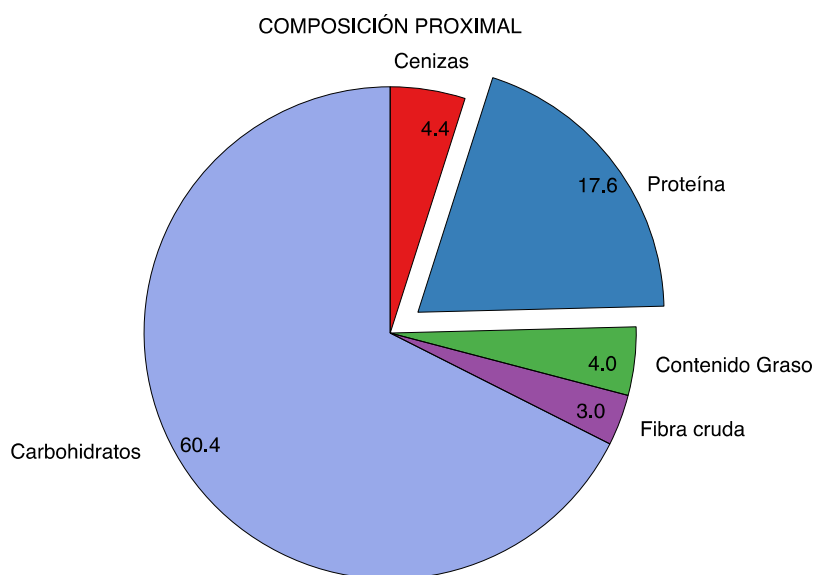


Figura 34. Contenido promedio (%) de componentes proximales en los genotipos de quínoa crecidos en Vallenar.

4.5. Proteínas.

La calidad nutricional de un producto depende tanto de la cantidad como de la calidad de sus nutrientes. En el caso de las proteínas de la quínoa cultivadas en Atacama, destacaron los genotipos AZ 88 y AZ 89 con un valor por sobre 20,3%, lo que supera al valor proteico encontrado en otros estudios en la variedad Regalona, cercanos al 14% (Miranda, M, 2012) y valores de otros granos como el maíz 10,2%, arroz 7,6 y el trigo 14,3% (Rev Tierra Adentro 2015), valores por debajo del promedio mostrado por estos genotipos cultivados en Atacama. Sin embargo, se hace necesario conocer su valor biológico el cual está dado por el perfil de aminoácidos.

El porcentaje de proteína de los genotipos evaluados se muestra en la Figura 35.

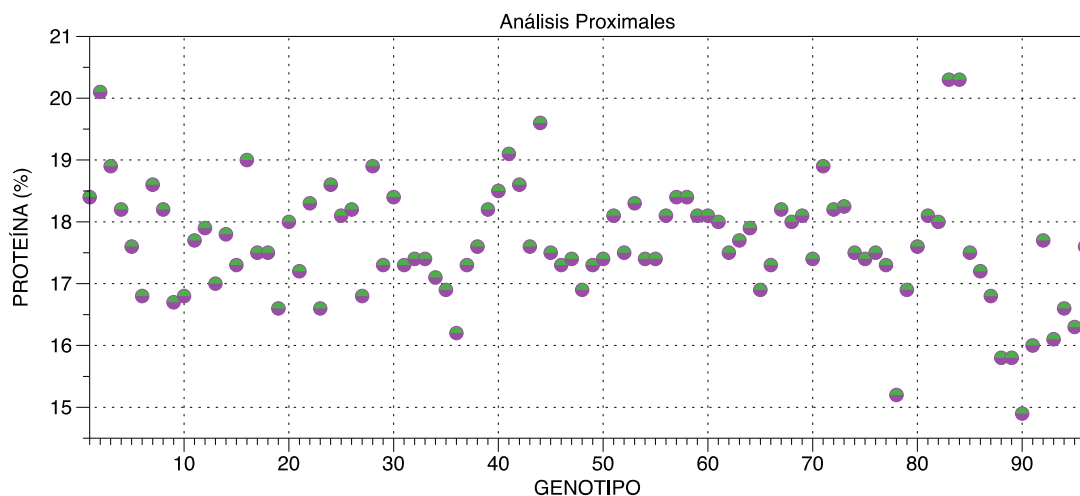


Figura 35. Porcentaje de proteína (%) en genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.

4.6. Perfil de Aminoácidos.

Los aminoácidos son la base de todo proceso vital ya que son absolutamente necesarios en todos los procesos metabólicos. Sus funciones más importantes son el transporte óptimo de nutrientes y la optimización del almacenamiento de todos los nutrientes (es decir, agua, grasas, carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas). Los aminoácidos que deben ser aportados por la dieta y no pueden ser sintetizados por el organismo se los llama esenciales. La carencia de estos aminoácidos en la dieta limita el desarrollo del organismo, ya que no es posible reponer las células de los tejidos que mueren o crear tejidos nuevos, en el caso del crecimiento. Por otra parte, los aminoácidos que pueden sintetizarse en el propio organismo se los conoce como no esenciales. Sin embargo, hay otro tipo de aminoácidos que no son esenciales pero que, dependiendo de algunas circunstancias como enfermedades, incapacidad de las enzimas que los sintetizan, estrés o convalecencias, se hacen imprescindibles en la dieta, son los llamados, aminoácidos semi-esenciales.

De los 95 genotipos de quínoa analizados, se seleccionaron dos de los genotipos con el mayor contenido de Proteína AZ 88 y AZ 89 y se enviaron al Laboratorio del INTA, para la identificación y cuantificación del perfil de aminoácidos.

Los resultados de los análisis realizados se presentan en los siguientes Cuadros (26, 27 y 28), indicando los aminoácidos esenciales, semi-esenciales y no esenciales, respectivamente.



Cuadro 26. Perfil de Aminoácidos Esenciales en dos genotipos de quínoa de líneas seleccionadas. Resultados expresados en g/100g de proteína.

Perfil de Aminoácidos	AZ89	AZ88	Promedio
Glicina+Histidina	4,1	4,2	4,15
Arginina	7	8	7,5
Treonina	2,5	2,8	2,65
Valina	3,8	4,1	3,95
Metionina	0,7	0,9	0,8
Isoleucina	3,2	3,4	3,3
Leucina	5,2	6	5,35
Fenilalanina	3,2	3,4	3,3
Lisina	4,7	4,9	4,8

Fuente: Inta, 2017.

Cuadro 27. Perfil de Aminoácidos Semi-Esenciales en dos genotipos de quínoa de líneas seleccionadas. Resultados expresados en g/100g de proteína.

Perfil de Aminoácidos	AZ89	AZ88	Promedio
Tirosina	1,5	1,8	1,65

Fuente: Inta, 2017.

Cuadro 28. Perfil de Aminoácidos No Esenciales en dos genotipos de quínoa de líneas seleccionadas. Resultados expresados en g/100g de proteína.

Perfil de Aminoácidos	AZ89	AZ88	Promedio
ácido Aspártico	7	7	7
ácido Glutámico	11	12	11,6
Trans-4-Hidroxi-Prolina	0,1	0,1	0,1
Serina	3,4	3,7	3,55
Alanina	3,5	3,6	3,55
Prolina	3,4	3,6	3,5
Glutamina	8	3,4	5,7

Fuente: Inta



4.7. Grasas.

El papel dietético y nutricional de las grasas y aceites es bastante complejo, como se evidencia en nuevos hallazgos biológicos sobre algunos de sus componentes que son esenciales para el hombre. Las grasas y los aceites deben considerarse tanto por sus aspectos cuantitativos como cualitativos, esto es su composición de ácidos grasos. En cuanto al contenido graso, el valor promedio obtenido por los genotipos de quínoa crecidos en Vallenar alcanzó el 4%, menor al determinado para un genotipo de la variedad Regalona cultivado en el sur de Chile, que llegó a 6,37% (Miranda et al. 2012). El contenido de los genotipos se presenta en la Figura 36.

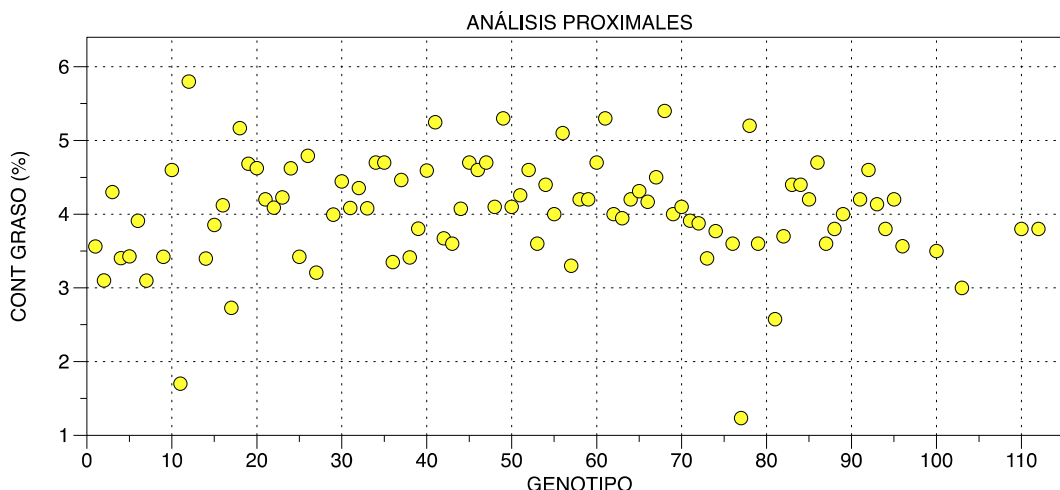


Figura 36. Porcentaje (%) del Contenido Graso en genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.

Sin embargo, el análisis importante radica en la calidad de los ácidos grasos: el ácido graso Oleico y Elaídico, mono-insaturado de la serie **omega 9**, fórmula química $C_{18}H_{34}O_2$ (o bien $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$) típico de aceites vegetales como el de oliva, mostró un promedio de 21,6%, destacando el genotipo AZ 96 con un valor de 28,2%, superior al reportado en bibliografía que alcanzó un valor de 18,68% en la variedad Regalona cultivada en el sur (Miranda et al. 2012).

Los ácidos grasos mono insaturados, como Oleico y Elaídico se han asociado con la reducción de la presión arterial (agente hipotensor), efectos positivos que conlleva su consumo. Previene el desarrollo de padecimientos cardiovasculares, ayuda a disminuir el colesterol LDL y triglicéridos en la sangre, reduce la resistencia a la insulina, y minimiza el riesgo de padecer artritis reumatoide. Los contenidos porcentuales de Oleico y Elaídico se presentan para los genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar (en Figura 37).

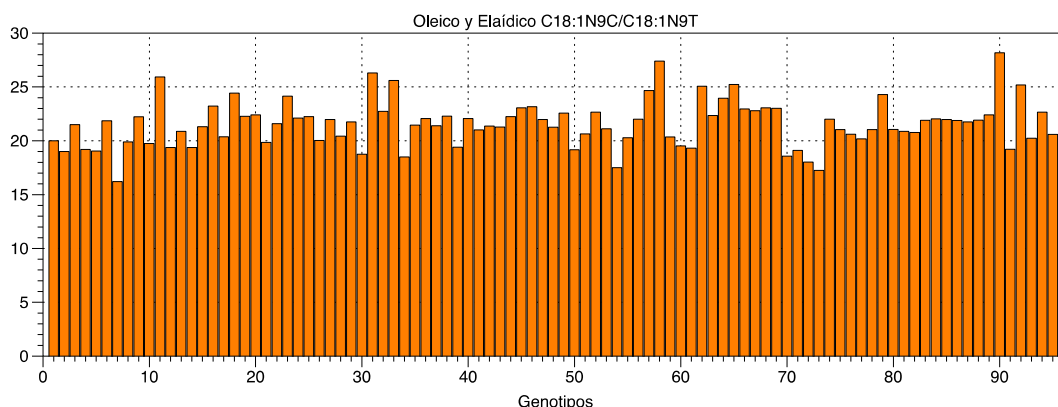


Figura 37. Porcentaje (%) del Contenido graso Oleico y Elaidico en 95 genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.

Para el caso de los ácidos grasos poliinsaturados, que son los que se encuentran en mayor cantidad en la quínoa, el ácido Linoleico y Linolelaídico, corresponden a ácidos grasos esenciales de la serie **omega 3** (el isómero α) u **omega 6** (el isómero γ), formado por una cadena de 18 carbonos con 3 dobles enlaces (para el isómero α están en las posiciones 9, 12 y 15) $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$. Éstos alcanzaron un valor promedio de 56,1%, valor similar a lo reportado en bibliografía, sobresaliendo el genotipo AZ 63 y en el caso del Linolénico que tiene un promedio de 5,9%, destacándose el genotipo AZ 40 con un valor de 7,8%. Esta composición de ácidos grasos poliinsaturados resulta relevante debido a que influyen en el sistema inmune (Suchner et al. 2000), enfermedades cardiovasculares y prevención de la arteriosclerosis (Bhattacharya et al. 2005).

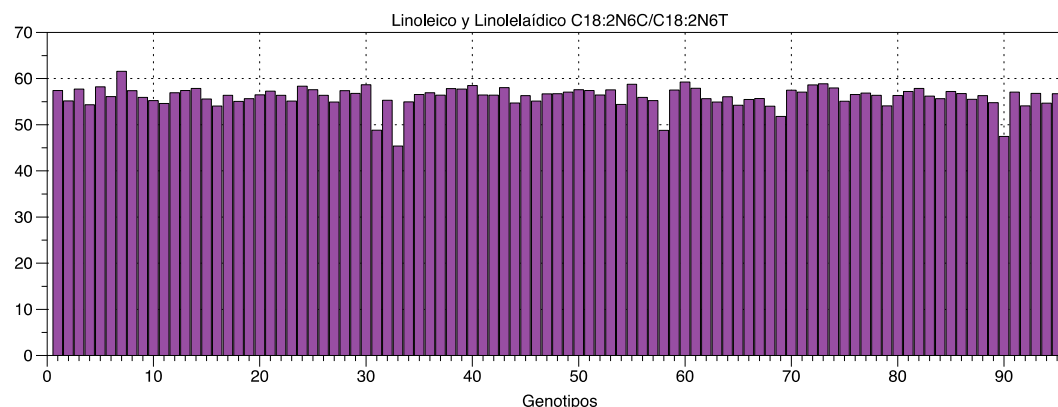


Figura 38. Porcentaje (%) del Contenido graso Linolénico /Linolelaídico en 95 genotipos de Quínoa cultivados en Vallenar.

Asimismo, para el caso de los ácidos grasos saturados el que presentó el mayor pick es el ácido Palmítico, que arrojó un valor promedio de 9,3% en los genotipos de quínoa analizados, siendo el genotipo AZ 34 el que mostró el mayor valor de 14,6% con respecto al total de ácidos grasos saturados (Figura 39). Este es un ácido graso saturado de cadena larga, formado por dieciséis átomos de carbono. Es un sólido blanco que se licúa a unos 63,1 °C. Su fórmula química es $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$. Es el ácido graso que más acelera el proceso de metástasis de las células cancerosas, pero en bajas concentraciones y mezclado con ácidos grasos mono y poli insaturados, no produce daño a la salud. Este tipo de ácido graso se encuentra presente en leche y sus derivados, carne y en todos los aceites vegetales en distintas proporciones. Por ejemplo, el aceite de palma contiene un 43% de ácido palmítico y el aceite de oliva un 10% (FEDNA).

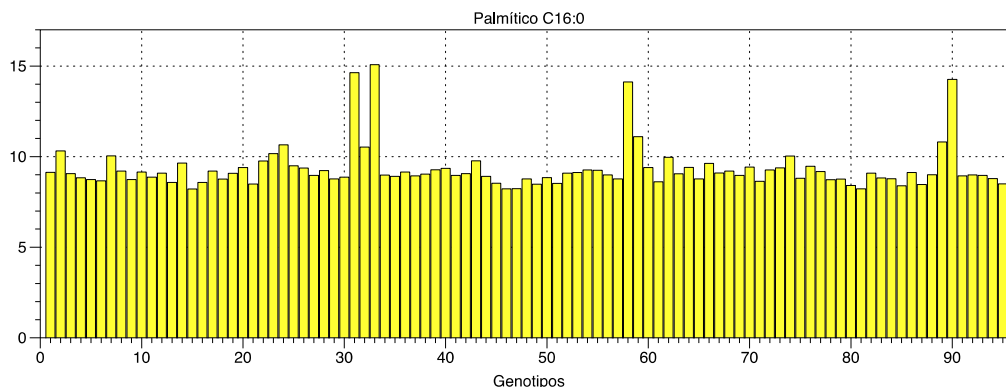


Figura 39. Porcentaje (%) del Contenido graso Palmítico en 95 genotipos de Quínoa.

Finalmente, el ácido graso Linolénico presentó un promedio de 5,9% en los genotipos de quínoa analizados, es un ácido graso poliinsaturado ácido graso esencial que necesita ser consumido para el correcto funcionamiento del cuerpo, principalmente el sistema nervioso e inmune, en la formación de membranas celulares, síntesis de hormonas y para la correcta formación de la retina. misma situación para el caso del ácido Linoleico, cuyo valor promedio alcanzó 5,9%.

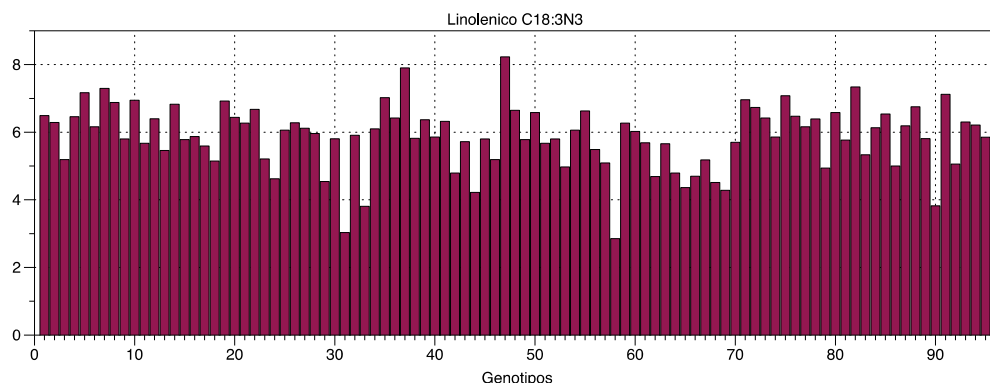




Figura 40. Porcentaje (%) del Contenido graso Linolénico en 95 genotipos de Quínoa.

El detalle de cada genotipo a nivel individual respecto al Perfil de ácidos grasos se presenta en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Compuestos funcionales: Perfil de ácidos grasos en granos de Quínoa.

PERFIL DE ACIDOS GRASOS				
Genotipo AZ	Palmítico (%) C 16:0	Oleico y Elaídico (%) C 18:1N9C / C18:1N9T	Linoleico y Linolelaídico (%) C18:2N6C/ C18:2N6T	Linolenico (%) C18:3N3
1	9,1	20,0	57,4	6,5
2	10,3	19,0	55,2	6,3
3	9,1	21,5	57,7	5,2
4	8,8	19,2	54,3	6,5
5	8,7	19,0	58,2	7,2
6	8,7	21,9	56,1	6,2
7	10,0	16,2	61,6	7,3
9	9,2	19,9	57,4	6,9
10	8,7	22,2	55,9	5,8
11	9,2	19,8	55,3	6,9
12	8,9	25,9	54,6	5,7
14	9,1	19,4	56,9	6,4
15	8,6	20,9	57,4	5,5
16	9,7	19,4	57,9	6,8
17	8,2	21,3	55,6	5,8
18	8,6	23,2	54,1	5,9
19	9,2	20,4	56,4	5,6
20	8,8	24,4	55,0	5,2
21	9,1	22,3	55,7	6,9
22	9,4	22,4	56,5	6,4
23	8,5	19,9	57,3	6,3
24	9,8	21,6	56,4	6,7
25	10,2	24,2	55,1	5,2
26	10,7	22,1	58,4	4,6
27	9,5	22,3	57,6	6,1
29	9,4	20,0	56,4	6,3
30	9,0	22,0	54,9	6,1
31	9,2	20,4	57,4	6,0
32	8,8	21,8	56,8	4,5
33	8,9	18,8	58,7	5,8
34	14,6	26,3	48,8	3,0
35	10,5	22,7	55,3	5,9
36	15,1	25,6	45,4	3,8
37	9,0	18,5	55,0	6,1
38	8,9	21,5	56,5	7,0
39	9,2	22,1	56,9	6,4
40	8,9	21,4	56,4	7,9



41	9,0	22,3	57,8	5,8
----	-----	------	------	-----

Cuadro 30. Compuestos funcionales: Perfil de ácidos grasos en granos de Quínoa(Cont.).

PERFIL DE ACIDOS GRASOS				
Genotipo AZ	Palmitico (%) C 16:0	Oleico y Elaidico (%) C 18:1N9C / C18:1N9T	Linoleico y Linolelaídico (%) C18:2N6C/ C18:2N6T	Linolenico (%) C18:3N3
42	9,3	19,4	57,7	6,4
43	9,4	22,1	58,5	5,9
44	9,0	21,0	56,4	6,3
45	9,1	21,4	56,4	4,8
46	9,8	21,3	58,0	5,7
47	8,9	22,2	54,7	4,2
48	8,5	23,1	56,3	5,8
49	8,2	23,2	55,1	5,2
50	8,2	22,0	56,7	8,2
51	8,8	21,3	56,7	6,7
52	8,5	22,6	57,1	5,8
53	8,8	19,2	57,6	6,6
54	8,5	20,6	57,4	5,7
55	9,1	22,7	56,4	5,8
56	9,1	21,1	57,6	5,0
57	9,3	17,5	54,4	6,1
58	9,3	20,3	58,8	6,6
59	9,0	22,0	55,9	5,5
60	8,8	24,7	55,2	5,1
61	14,1	27,4	48,8	2,9
62	11,1	20,4	57,5	6,3
63	9,4	19,5	59,3	6,0
64	8,6	19,3	57,9	5,7
65	10,0	25,1	55,6	4,7
66	9,1	22,4	54,9	5,7
67	9,4	24,0	56,1	4,8
68	8,8	25,2	54,2	4,4
69	9,6	23,0	55,5	4,7
70	9,1	22,8	55,7	5,2
71	9,2	23,1	54,0	4,5
72	9,0	23,0	51,8	4,3
73	9,4	18,6	57,5	5,7
74	8,6	19,1	57,1	7,0
76	9,3	18,0	58,6	6,7
77	9,4	17,3	58,9	6,4
78	10,0	22,0	58,0	5,9
79	8,8	21,0	55,1	7,1
81	9,5	20,6	56,5	6,5
82	9,2	20,2	56,9	6,2
83	8,7	21,0	56,4	6,4



Cuadro 31. Compuestos funcionales: Perfil de ácidos grasos en granos de Quínoa (Cont.).

PERFIL DE ACIDOS GRASOS				
Genotipo AZ	Palmitico (%) C 16:0	Oleico y Elaídico (%) C 18:1N9C / C18:1N9T	Linoleico y Linolelaídico (%) C18:2N6C/ C18:2N6T	Linolénico (%) C18:3N3
84	8,8	24,3	54,1	4,9
85	8,4	21,1	56,4	6,6
86	8,2	20,9	57,2	5,8
87	9,1	20,8	57,8	7,3
88	8,8	21,9	56,2	5,3
89	8,8	22,0	55,6	6,1
91	8,4	22,0	57,2	6,5
92	9,1	21,9	56,8	5,0
93	8,5	21,8	55,5	6,2
94	9,0	21,9	56,3	6,8
95	10,8	22,4	54,8	5,8
96	14,3	28,2	47,5	3,8
100	8,9	19,2	57,1	7,1
103	9,0	25,2	54,1	5,1
110	9,0	20,2	56,8	6,3
112	8,8	22,7	54,7	6,2
196	8,5	20,6	56,7	5,9
PROMEDIO	9,3	21,6	56,1	5,9

Cabe destacar la importancia de los ácidos grasos en quínoa, puesto que el ácido Linoleico es metabolizado a ácido araquidónico y el ácido linolenico a ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA). El ácido Linoleico es uno de los ácidos grasos poliinsaturados identificados más abundantes; estos ácidos grasos poliinsaturados poseen varios efectos positivos sobre enfermedades cardiovasculares y sensibilidad a la insulina mejorada.

El contenido total de lípidos reportados en quínoa es de 14,5% con un nivel de insaturados alrededor del 70%, teniendo los ácidos linoleico y oleico en porcentajes de 38,9% y 27,7% respectivamente (Vega-Gálvez et al 2010). Otros reportes indican que las grasas en quínoa poseen un alto contenido de ácido oleico (24%) y ácido linoleico (52%; Ahamed et al. 1998). Cabe señalar que todos los ácidos grasos presentes en quínoa están bien protegidos por la presencia de vitamina E, antioxidante natural. También se han reportado porcentajes en quínoas Peruanas con el porcentaje de



ácidos grasos más alto de 50,2% para el ácido linoleico (omega-6), 4,8% of ácido linolenico (omega-3).

En la Figura 41 se indica el perfil de ácidos grasos promedio de los genotipos muestreados de quínoa cultivada en Vallenar.

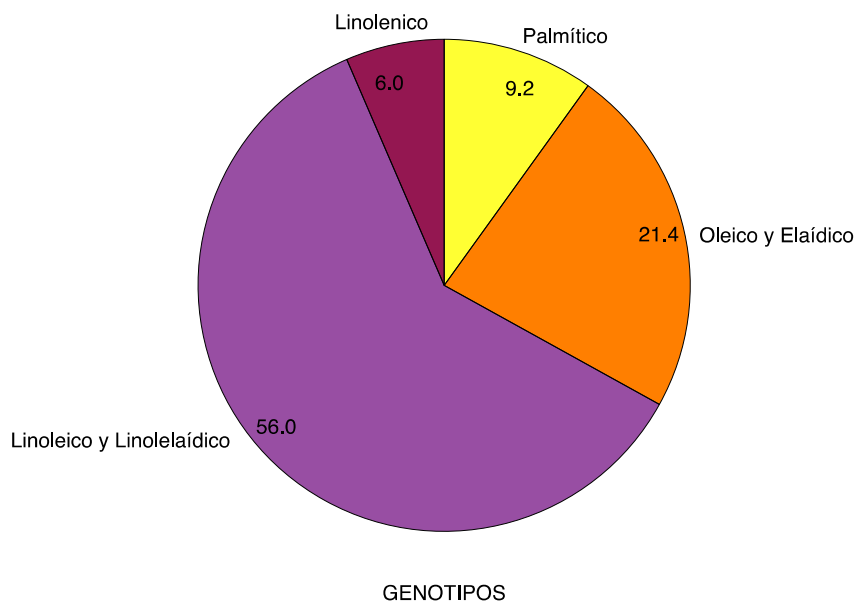


Figura 41. Composición porcentual promedio de ácidos grasos en genotipos de Quínoa crecidas en Vallenar.

En la Figura 42 se presenta una comparación de la calidad del aceite de la Quínoa Atacameña en relación con otros aceites de cereales.

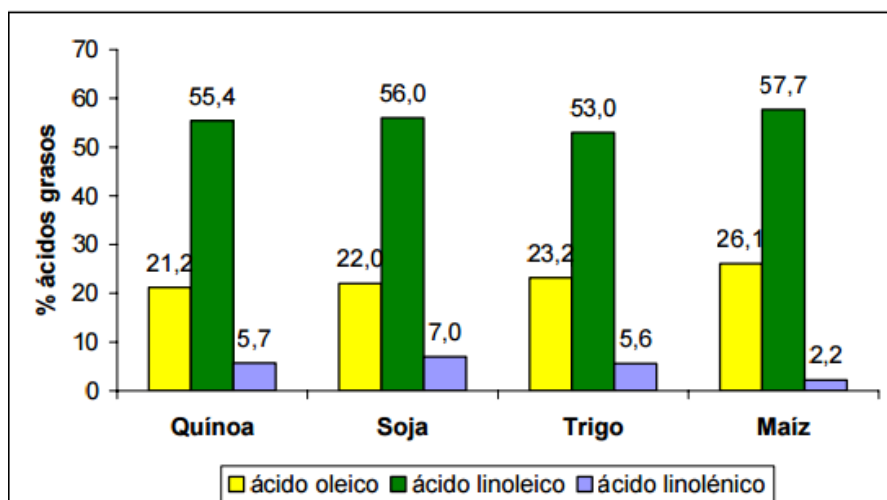


Figura 42. Comparación de los principales ácidos grasos del aceite de la semilla de Quínoa con otras semillas similares en composición.

Además, si consideramos las propiedades funcionales del aceite de quínoa cultivada en Atacama, y realizamos comparación entre los ácidos grasos poliinsaturados como los omega 6 y omega 3 en varios tipos de alimentos, vemos que tanto el % de Linoleico (omega 6) y Linolénico (omega 3) se encuentran en porcentajes muy interesantes y superiores a varios aceites de alta calidad, superando al aceite de oliva, maíz, y girasol, tal como se presenta en la Figura 43.

Cabe destacar que la quínoa ayuda a reducir el colesterol LDL (o colesterol malo) del organismo y elevar el colesterol HDL (colesterol bueno) gracias a su contenido en ácidos grasos omega 3 y omega 6 (FAO, 2011).

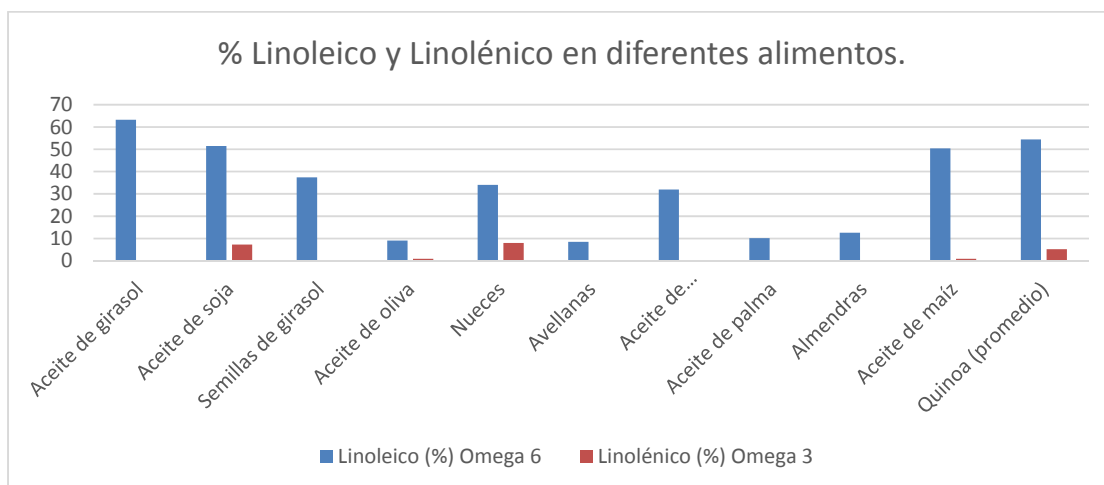


Figura 43. Comparación de omega 6 y omega 3, en varios tipos de alimentos en relación a quínoa.



4.8. Carbohidratos.

La cantidad de carbohidratos presentes en la quínoa, la convierten en una fuente óptima de energía, obteniéndose para la Quínoa Atacameña un valor de promedio de 60,4%. En la Figura 44 se presenta el contenido de hidratos de carbono para genotipos seleccionados de Quínoa Atacameña analizados.

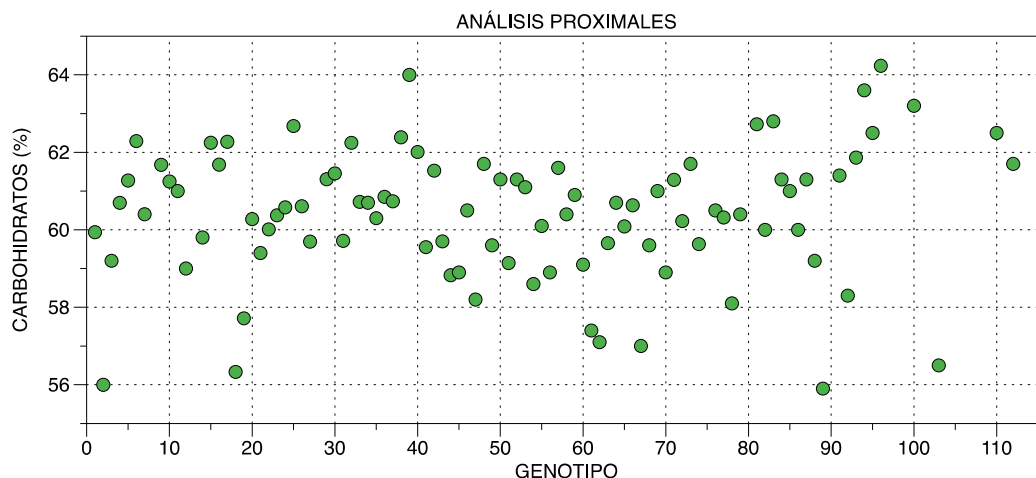


Figura 44. Porcentaje de Carbohidratos en granos de genotipos de Quínoa Atacameña.

4.9. Fibra Cruda.

La fibra dietética es un componente de los vegetales que no es digerido por las enzimas del sistema digestivo del ser humano. Los componentes más importantes de la fibra dietética son los polisacáridos complejos, tales como la celulosa, β -glucanos, hemicelulosa, pectinas y gomas.

En la Figura 45 se presenta el contenido de fibra cruda (%) y ceniza (%) para los 95 genotipos de Quínoa Atacameña

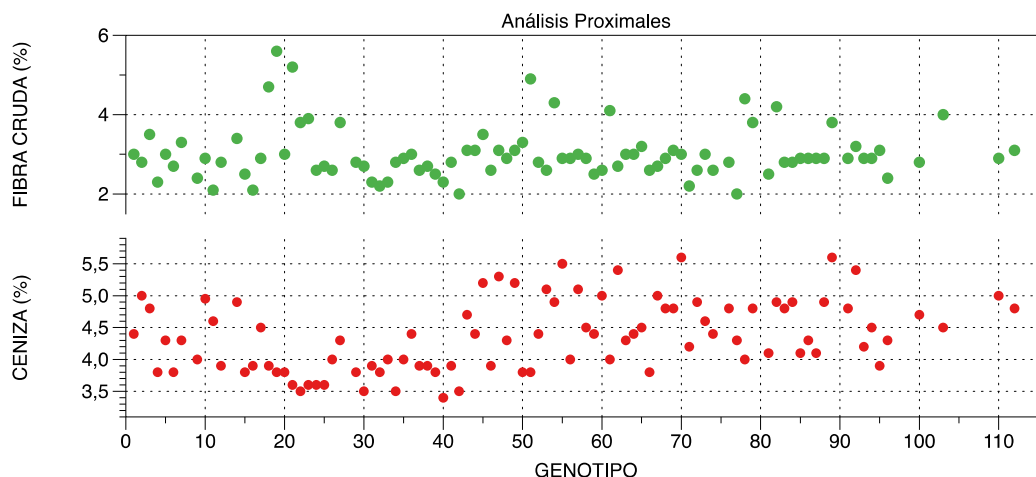


Figura 45. Porcentaje de Fibra cruda (%) y Ceniza (%) en grano de genotipos de Quínoa Atacameña analizados.

4.10. Contenidos Minerales en Quínoa.

Los minerales tienen numerosas funciones en el organismo humano debido a que forman parte de la estructura de muchos tejidos. Estos se clasifican en macro y micro minerales, siendo los primeros aquellos que se necesitan en cantidades apreciables en la dieta y los segundos aquellos que se necesita en pequeña cantidad.

Para la Quínoa Atacameña, se determinó el contenido de macro y micro-minerales, en semillas de dos genotipos de quínoa: AZ 77 y AZ 88, que se destacaron por su alto contenido de cenizas (sobre el 5%).

En el Cuadro 32 se presenta el contenido de macro-minerales determinados en las dos líneas seleccionadas de Quínoa Atacameña, AZ 77 y AZ 88. Dentro de los macro-minerales, destaca el bajo contenido de sodio, en donde la ingesta en gran cantidad de sodio se ha asociado con diversas enfermedades no transmisibles (ENT) como la hipertensión, las enfermedades cardiovasculares o los accidentes cerebrovasculares, de modo que es beneficioso contar con alimentos bajos en este mineral. Los últimos datos indican que en el mundo se consume mucho más sodio del necesario para la actividad fisiológica, en muchos casos, el consumo supera con creces lo recomendado en la actualidad por la Organización Mundial de la Salud (OMS): 2 gramos de sodio (equivalentes a 5 gramos de sal) al día (OMS, 2013).

Además se observa que a pesar de existir diferencias sutiles en los contenidos porcentuales, en cuanto al Fósforo, Calcio y Potasio las diferencias fueron relevantes.



Cuadro 32. Macro-minerales en genotipos seleccionados de quínoa Atacameña

Macro-Minerales	AZ77(%)	AZ89(%)
Fósforo	0,52	0,48
Calcio	0,17	0,12
Magnesio	0,26	0,24
Sodio	0,02	0,03
Potasio	1,83	1,68

Al analizar el contenido de Fósforo y compararlo con variedades de quínoa de otros países, como Colombia, Bolivia y Perú, el contenido de fósforo se mantuvo con un promedio de 0,4 a 0,5% mientras que el calcio presentó una variación, siendo la quínoa Nariño de Colombia la más alta en este tipo de mineral (Cuadro 33). Sin embargo, la quínoa Atacameña presentó una mayor concentración al compararla con materiales de Bolivia y Perú (Rosero et al 2013).

Cuadro 33. Contenido de Fósforo y Calcio en distintas variedades de quínoa, cultivadas en diferentes países.

Variedades de quínoa	Procedencia	Ca (%)	P(%)
Nariño	Colombia	0,172	0,497
Anapqui 2S	Bolivia	0,098	0,45
IICA-020	Bolivia	0,088	0,44
Huancavelica	Perú	0,112	0,5
Líneas AZ (promedio)	Atacama, Chile	0,145	0,5

En tanto, respecto de los micro-minerales, en el Cuadro 34 se presenta el contenido para los genotipos seleccionados previamente, que mostraron el mayor porcentaje de cenizas.

Cuadro 34. Micro-Minerales en genotipos seleccionados de quínoa Atacameña

Micro- Minerales	AZ77 (ppm)	AZ89 (ppm)
Cinc	32,7	38,4
Cobre	16,1	15,9
Hierro	159,5	176,2
Manganeso	42,2	40,3
Aluminio.	20,3	25,6



Finalmente, y en comparación con otros tipos de cultivos (cereales) tales como trigo, arroz y maíz, la quínoa se encuentra dentro de los más altos respecto al contenido de minerales, a excepción del calcio que es muy similar al del maíz, según se presenta en el Cuadro 35.

Cuadro 35. Composición de minerales en otros productos alimenticios. Fuente: (www.entrenasalud.es/quinoa-algo-mas-que-un-alimento/).

COMPOSICION en mg por cada 100g de grano						
Composición (mg)	Maíz	Trigo	Avena	Centeno	Cebada	Quínoa
Calcio	150	44	88	54	38	145
Fósforo	256	406	253	323	376	500
Magnesio	120	147	0	0	0	250
Potasio	330	502	0	0	0	1755
Hierro	0	3,3	5,3	5,8	3,7	16,8
Manganeso	0,5	3,5	0	0	0	4,1
Zinc	2,5	4	0	0	0	3,6

CAPÍTULO 5. COMPUESTOS FUNCIONALES.

5.1. Contenido de Polifenoles totales.

El elevado contenido de fitoquímicos presentes en la quínoa, hacen que ésta sea considerada un alimento funcional, es decir que puede mejorar la salud y prevenir enfermedades más allá de los nutrientes tradicionales que contiene. Dentro de los fitoquímicos presentes, encontramos los polifenoles totales que son compuestos sintetizados por las plantas, y en este grupo podemos encontrar ácidos fenólicos, lignanos, estilbenos y flavonoides. Los polifenoles tienen una importante actividad antioxidante, antiinflamatoria, hipolipemiante y tienen poder protector frente a agentes tumorales (Viñas 2017). Estas propiedades protegen nuestras células del daño oxidativo y nos confieren protección contra enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares, daño neurodegenerativo y cáncer.

La cantidad de polifenoles totales presentes en la quínoa varió entre los genotipos analizados (Figura 46), teniendo un promedio de 386.4 mg AG/kg de Polifenoles Totales, destacando el genotipo AZ 89 con 542mg AG/kg. Este contenido es comparable con el contenido de polifenoles del aceite de oliva, cuyo valor promedio para la variedad sevillana del Valle del Huasco es de 447,94 mg/Kg de aceite (Tapia et al. 2015).

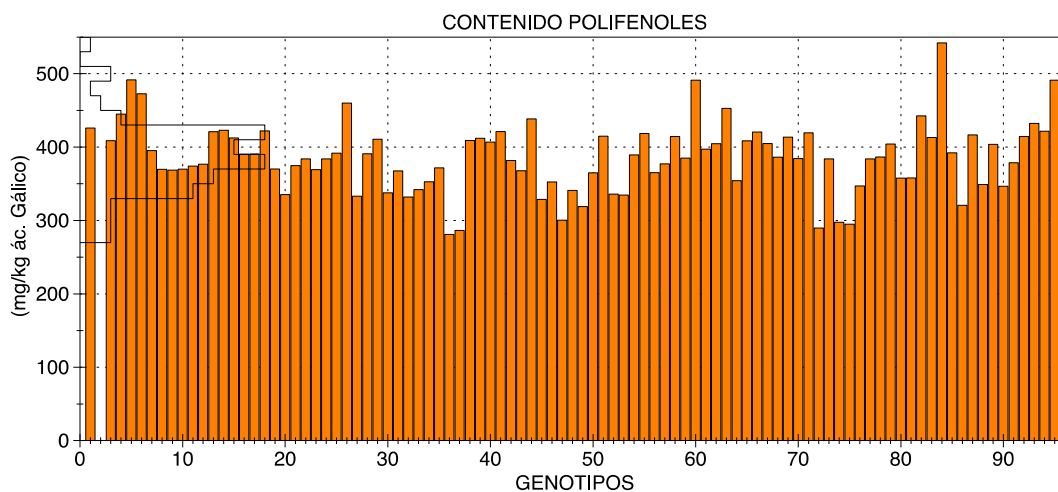


Figura 46. Contenido Polifenoles Totales en granos de genotipos seleccionados de quínoa crecidos en Vallenar.



5.2. Capacidad Antioxidante.

Los mecanismos de acción antioxidante de los compuestos fenólicos son diversos. Cada compuesto fenólico actuará a través de uno o más mecanismos, según sus propiedades distintivas. De manera general, los compuestos fenólicos pueden actuar como antioxidantes mediante dos mecanismos principales: la neutralización de radicales libres y la quelación de metales (Rice-Evans et al 1996).

En la neutralización de radicales libres, los compuestos fenólicos actúan como donantes de hidrógeno o electrones debido a su bajo potencial redox, lo que los hace termodinámicamente capaces de reducir radicales libres altamente oxidantes y causantes del deterioro de tejidos.

Otro mecanismo de actividad antioxidante de ciertos compuestos fenólicos tiene que ver con su propiedad de quelar iones metálicos como hierro o cobre, que al unirse a ellos reducen la capacidad de éstos para generar radicales libres.

De los genotipos estudiados, se obtuvo un promedio de 495.3 mgT/kg quínoa de capacidad antioxidante, destacando el genotipo AZ 3 con 927.3 mgT/kg en capacidad antioxidante. Los resultados se presentan en la siguiente Figura:

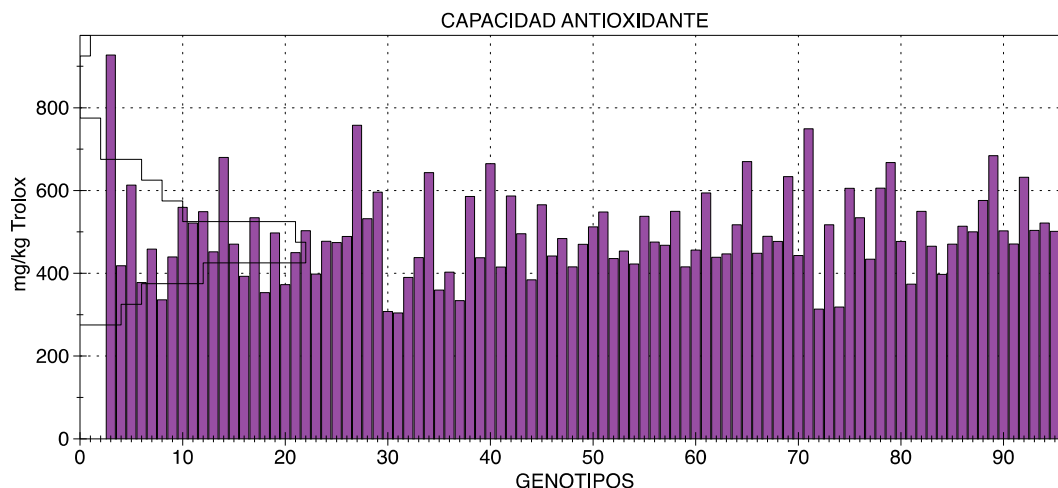


Figura 47. Capacidad Antioxidante determinada en granos de genotipos seleccionados de quínoa crecidos en Vallenar.



CAPÍTULO 6. ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN DEL PROYECTO.

Dentro de los objetivos del proyecto, se plantearon como metas el transferir tecnologías que permitieran difundir avances, potencial y resultados obtenidos mediante actividades en terreno con productores e interesados. Producto de esta propuesta, se realizaron diversas actividades como Charlas Técnicas, Días de Campo, visitas a productores, presencia en medios escritos, radiales, y en plataformas digitales para destacar algunos avances del proyecto, cumpliendo las metas originalmente establecidas en el proyecto.

Asimismo, hubo actividades realizadas en la Región de Valparaíso, para presentar los avances obtenidos durante el desarrollo del presente proyecto. Se generó material impreso que fue entregado a los asistentes de las charlas. Se han apoyado experiencias productivas con dos productores de los valles de Copiapó y Huasco, pioneros a escala comercial con el cultivo. Las últimas actividades se encuentran detalladas en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Actividades de extensión realizadas durante el último año del proyecto.

Charla Técnica	Fecha	Relator	Asistentes	Lugar
Día de Campo (C.E.H.)	12-01-17	Andrés Zurita	40	Vallenar
Día de Campo (C.E.H.)	29-03-17	Andrés Zurita	53	Vallenar
Liceo Alto alto del Carmen	01-06-17	Andrés Zurita	32	Alto del Carmen
Liceo Agrícola de Freirina	06-06-17	Andrés Zurita	14	Freirina
Liceo Héroe de Copiapó	17-08-17	Andrés Zurita	79	Copiapó
Liceo Politécnico	18-08-17	Andrés Zurita	32	Vallenar
San Pedro	31-08-17	Alejandro Layana	15	Copiapó
Programa SIRD-S Regional	01-11-17	E. Veas- H. Cortés	7	Copiapó
Programa SIRD-S Regional	02-11-17	E. Veas- H. Cortés	6	Vallenar
Canto del Agua	08-11-17	Alejandro Layana	7	Vallenar
Charla en Curso	17-11-17	Andrés Zurita	24	La Cruz
Seminario Final (C.E.H.)	13-12-17	Andrés Zurita Verónica Arancibia	28	Vallenar



6.1. Informativos y/o divulgativos

Se editaron dos informativos siguiendo el formato de INIA, publicación dirigida fundamentalmente a agricultores, escrita en un lenguaje sencillo y comprensible sobre la agronomía del cultivo de la quínoa, caracterizados por presentar lineamientos, procedimientos o recomendaciones, en forma precisa y objetiva. Se incluyen como anexos a este informe.



CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- Ahamed N T, Singhal R S, Kulkarni P R and Mohinder P. 1998. A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: review of the chemical composition of its edible parts. Food Nutr Bull 19:61 – 70.
- Alfaro Christian, Andrés Zurita-Silva, Dalma Castillo, Pedro León-Lobos, Ivette Seguel, Jorge Díaz, Kurt Ruf, Manuel Pinto, Iván Matus. Programa de Mejoramiento Genético de Quínoa, la nueva apuesta de INIA. Tierra Adentro (2015) N°108, 38-41.
- Allen, R.G., et al., Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, 1998.
- Araya, F. (2008). Crop-check Chile: sistema de transferencia tecnológica para el sector agroalimentario. 64 pp. Fundación Chile.
- Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014). Tendencias y perspectivas del comercio internacional de quinua. Coordinadores: Salomón Salcedo (FAO) y Pablo Rabczuk (ALADI). 56 pp.
- Bazile D., D. Bertero y C. Nieto. (Eds., 2014). “Estado del arte de la quinua 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>).
- Becker, H.C., and J. Léon. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding 101:1-23.
- Biondi S, Ruiz Kb, Martínez Ea, Zurita-Silva A, Orsini F, Antognoni F, Dinelli G, Marotti I, Gianquinto G, Maldonado S, Burrieza H, Bazile D, Adolf Vi, Jacobsen S-E. Tolerancia a condiciones salinas. Capítulo Número 2.3. IN: BAZILE D. et al. (Editores), “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 167-184.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use a of free radical method to evaluate antioxidant activity. Food Sci.Tecnol. 1995;28(1):25-30.
- Calderini, D., and F. Dreccer. 2002. Choosing genotype, sowing date, and plant density for malting barley. p. 413-443. In Slafer, G., J. Molina Cano, R. Savin, J. Araus, and I. Ramagosa (eds.) Barley science. Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality. Food Products Press, New York, USA.
- Curti, R. N., la Vega, de, A. J., Andrade, A. J., Bramardi, S. J., & Bertero, H. D. (2016). Adaptive responses of quinoa to diverse agro-ecological environments along an altitudinal gradient in North West Argentina. Field Crops Research, 189, 10–18.
- Erley, G.S., Kaul, H. (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. European Journal of Agronomy 22, 95-100.



- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2015). Coping with climate change – the roles of genetic resources for food and agriculture. Rome. 130 pp.
- Fuentes, F. & Bhargava, A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197, 124-134.
- Fuentes, F., Espinoza P. A., von Baer I., Jellen E. N., Maughan P. J. (2009a). Determinación de relaciones genéticas entre *Chenopodium quinoa* Willd del sur de Chile y parientes silvestres del género *Chenopodium*. En *Anales del XVII Congreso Nacional de Biología del Perú*: 45. Tacna, Perú.
- Fuentes, F., Martínez E.A., Hinrichsen P.V., Jellen E.N., Maughan P.J. (2009b). Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics* 10(2), 369-377.
- Gómez-Caravaca A, G lafelice, V Verardo, E Marconi, M F Caboni. 2014. Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Chemistry*, Vol 157: 174-178,
- Guzmán, R. 2014. Respuesta del Cultivo de Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Línea Mutante 'La Molina 89-77' A tres Regímenes de Riego, en Condiciones de La Molina. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina. 93 p. [en línea]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1387/T007129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hirich A., A. Jelloul, R. Choukr-Allah & S.-E. Jacobsen (2014). Saline Water Irrigation of Quinoa and Chickpea: Seedling Rate, Stomatal Conductance and Yield Responses. *J Agro Crop Sci* 200(5), 378–389.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- Isobe K, H Sugiyama, D Okuda, Y Murase, H Harada, M Miyamoto, S Koide, M Higo, Y Torigoe (2016). Effects of Sowing Time on the Seed Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in South Kanto, Japan. *Agricultural Sciences* 7: 146-153
- Jacobsen S.-E., Mujica A., Jensen C.R. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Rev Int* 19, 99–109
- Jacobsen, S.-E. (2014). Adaptación y posibilidades para la quinua en las latitudes septentrionales de Europa. Capítulo 6.11. En: BAZILE D. et al., (Editores), "Estado del



- arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 520-533.
- Latorre, E. 2007 Carne de Cordero Magallánico, sus ventajas nutricionales. Rev. Tierra Adentro, p.38-40.
- Lesjak, J., & Calderini, D. F. (2017). Increased Night Temperature Negatively Affects Grain Yield, Biomass and Grain Number in Chilean Quinoa. *Frontiers in Plant Science*, 8(D05109), 713–11.
- Martínez, E. 2015. ¿Es rentable la producción de quínoa en Chile? Un análisis de los costos de producción. Revista Tierra Adentro N°108. Editorial Instituto de Investigaciones Agropecuaria, INIA. Chile. 68-73 p.
- Maughan P.J., Jellen, E.N., Raney J.A. (2014) Herramientas Moleculares y Genómicas para la Quinoa. Capítulo 1.2. En: BAZILE D. et al., (Editores), “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 26-32.
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E., López, J., Rodríguez, M. J., Henríquez, K., & Fuentes, F. (2012). Genetic diversity and comparison of physicochemical and nutritional characteristics of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes cultivated in Chile. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 32(4), 835–843.
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Rodríguez, M. J., Maureira, H., & Martínez, E. A. (2012). NUTRITIONAL ASPECTS OF SIX QUINOA (*Chenopodium quinoa* WILLD.) ECOTYPES FROM THREE GEOGRAPHICAL AREAS OF CHILE. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 2.
- Morales A., Zurita-Silva A., Maldonado J., Silva H. (2017). Transcriptional Responses of Chilean Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Under Water Deficit Conditions Uncovers ABA-Independent Expression Patterns. *Frontiers in Plant Science* 8:216.
- Roa de Acevedo, S., and A. Arcia. 1987. Comportamiento de tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en diferentes anos de siembra. *Agronomía Tropical* 37(4-6):105-115.
- Rosero Olga, M Marounek, N Břeňová y D Lukešova. 2013. Phytase activity and comparison of chemical composition, phytic acid P content of four varieties of quinoa grain (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agron. Colombia* vol.62(1): 13-20.
- Ruiz K.B., S. Biondi, R. Oses, I.S. Acuña-Rodríguez, F. Antognoni, E.A. Martínez-Mosqueira, A. Coulibaly, A. Canahua-Murillo, M. Pinto, A. Zurita-Silva, D. Bazile, S.-E. Jacobsen, M.A. Molina-Montenegro (2013). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34(2):349-359.
- Ruiz-Carrasco K., F. Antognoni, A.K. Coulibaly, S. Lizardi, A. Covarrubias, E.A. Martínez, M.A. Molina-Montenegro, S. Biondi, 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
- Sadzawka, A., M. Carrasco, R. Demanet, H. Flores, R. Grez, M.L. Mora, y A. Neaman. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. 2ª ed. Serie Actas INIA N° 40. 140 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile
- Tang Y.; L. Xihong et al. Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. Genotypes. *Food Chemistry*, v.166, p. 80–388, 2015
- Tapia, F.; Arancibia, V.; Larrea, D.; Santelices, S.; Araniti, V.; Bauzá, M.; Salas C. y Rojas A. 2015. Producción de aceite de oliva “blend” variedad Sevillana como base para la Denominación de Origen de Aceite de Oliva del Valle del Huasco. 62 p. Boletín INIA N°318. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- 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(15), 2541–2547.
- Von Baer, I. 2013. Quínoa: como producirla de norte a sur. <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2013/06/04/Quinoa-Como-producirla-de-norte-a-sur.aspx>
- World Health Organization (WHO), 2012. Guideline: Potassium intake for adults and children. Geneva).
- Zurita-Silva A, Jacobsen S-E, Razzaghi F, Alvarez-Flores R, Ruiz KB, Morales A, Silva H. Respuestas a la sequía y adaptación de la Quinoa. Capítulo Número 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., Fuentes F., Zamora P., Jacobsen S.-E., Schwember A.R. (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding* 34, 13-30.
- Zurita-Silva Andrés, Karina Ruiz. Sequía, frío y salinidad: respuesta de la quínoa al desafío ambiental. *Tierra Adentro* (2015) N°108, 42-47.