

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

Tesis Doctoral



Aspectos Tecnológicos que influyen en las pérdidas nutricionales durante el proceso de obtención de Harinas de Quinoa. Caracterización físico-química.

Autor: Lic. Cervilla Natalia Soledad

Director: Dr. Carlos Alberto Guzmán

Noviembre de 2016

Aspectos Tecnológicos que influyen en las pérdidas
nutricionales durante el proceso de obtención de
Harinas de Quinoa. Caracterización físico-química.

por

Lic. Cervilla Natalia Soledad

Dr. Guzmán Carlos Alberto

Director

COMISIÓN ASESORA:

Dr. Carlos A. Guzmán

FCEFN-UNC

Dr. Edgardo L. Calandri

FCEFN-UNC

Dra. Nilda I. Brutti

FCM-UNC

Esta Tesis fue enviada a la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba para cumplimentar los requerimientos de obtención del grado académico de Doctor en Ciencias de la Ingeniería.

Córdoba, Argentina, Noviembre de 2016.



UNC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA
Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales

ACTA DE EXAMENES

Libro: 00001 Acta: 03704 Hoja 01/01
LLAMADO: 1 08/11/2016
CATEDRA - MESA:

DI002 TESIS DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA

NUMERO	APELLIDO Y NOMBRE	DOCUMENTO INGRESO COND.	NOTA	FIRMA
30554424	CERVILLA, Natalia Soledad	DNI: 30554424 2009 T	APROBADO	

WUNDERLIN, Daniel - PALLARO, Anabel Nora - RUBIOLO, Amelia - CRIVELLO, Mónica - NEPOTE, Valeria -

Observaciones:

AMELIA RUBIOLO

Córdoba, ___/___/___-

Certifico que la/s firma/s que ha/n sido puesta/s en la presente Acta pertenece/n a: _____

Inscritos 1 Ausentes 0 Examinados 1 Reprobados 0 Aprobados 1
03/11/2016 09:50:08

Libro/Acta: 0000103704 Hoja: 01/ 01

Dedicatoria

...A Dios...

...A mis dos tesoros, Avril y Justina...

...A mi gran compañero, Carlos, por el amor, la paciencia, el apoyo, y la fuerza que me brindó siempre...

...A mis padres, Angela y José, por la incondicionalidad de su amor, la permanente compañía y la posibilidad que me brindaron de realizar mis estudios universitarios y de posgrado...

...A mis hermanos, María Ángeles y Ezio por confiar en mí, por su amor y por su inmensa compañía...

...A mis amigas, por acompañarme, alentarme y permanecer ahí...cuando me perdía...

Agradecimientos

Agradezco inmensamente a todos los que de uno u otro modo hicieron posible la realización del trabajo...

A mi Director, mi querido Director, Doc. Carlos A. Guzmán, por sus consejos, paciencia y confianza...

Al Doc. Edgardo L. Calandri, por la paciencia y dedicación con la que abordó cada una de las cuestiones que le planteaba...

A mi amigo Doc. Vicente Gianna, por el ejemplo de maestro que es, por la ayuda desinteresada que me dio siempre...porque fue un privilegio haber compartido tiempo con el...

A la Comisión Asesora: Dra. Nilda I. Brutti, Dr. Edgardo L. Calandri y Dr. Carlos A- Guzmán por acompañarme en el trascurso de la Tesis...

A la Escuela de Nutrición...

Al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos...

A la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales...

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba...

Al Lic. Le Bihan por su profesionalismo, por haberme ayudado a seguir, a buscar el equilibrio...

A mis compañeros de trabajo Camilo, Horacio; un agradecimiento especial merecen Romina Mufari y Patricia Miranda, que me han dado un grandísimo apoyo, en todos los sentidos, técnico, académico y emocional...

A Pablo Ribotta, Mariela Vidueiros, Claudia Albrecht, Patricia Montoya, Florencia Grasso, Antonella Bergesse, Natalí Rojas, Candela Valladares y Fiorella Martínez, Ricardo Lagier, Pablo Hereñu y Santiago Lagier.

A todos Gracias infinitas...

RESUMEN

La quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd, es un grano andino de origen ancestral que presenta diferencias en su composición física, química y nutricional según la variedad de la que se trate, el grado de madurez y las condiciones ambientales y del suelo en donde se cultive. Además, admite múltiples usos culinarios, domésticos o industriales y puede ser consumido por toda la población a partir de los 6 meses de edad y al no poseer proteínas formadoras de gluten, incluso las personas celíacas pueden hacer uso de sus beneficios. En el presente trabajo se caracterizaron físico químicamente frutos de quinoa variedad CICA, provenientes de los Departamentos Molinos (cosechas 2007 y 2008) y La Poma (cosechas 2009, 2010 y 2011) de la Provincia de Salta, Argentina, y se analizó el efecto de las operaciones involucradas en el proceso de obtención de harinas crudas y precocidas sobre algunos componentes de interés nutricional.

El trabajo se desarrolló en **7 Capítulos**:

En el **Capítulo 1** se describen los antecedentes generales de las plantas y frutos de *Chenopodium quinoa* Willd, su historia y situación actual, distribución geográfica, el mercado nacional e internacional, el valor nutricional, los factores antinutricionales, usos, aplicaciones y proceso de obtención de harinas.

A partir del Capítulo 2 y hasta el 6, cada uno constó de las siguientes Secciones: Introducción y Objetivos específicos del Capítulo, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y por último las Conclusiones parciales.

En el **Capítulo 2** se desarrolló la caracterización físico-química de los frutos a partir de los cuales se realizó el seguimiento del valor nutricional a lo largo del proceso de obtención de las harinas. A partir del Capítulo 3 en adelante, estos se dividieron en función de las etapas involucradas en el proceso. Así, en el **Capítulo 3** se analizaron: el efecto de las operaciones de Clasificación, Limpieza (tamizado) y Desamargado sobre la composición proximal, y contenido de saponinas y minerales en las semillas; en el **Capítulo 4**, se discute el procedimiento de cocción de las semillas de quinoa por vapor-presión que permitió obtener harinas de reconstitución instantánea y se estableció el tiempo. Se compararon las pérdidas de algunos componentes de interés nutricional provocadas por este y otros métodos tradicionales de cocción y se analizaron los efectos del método y tiempo seleccionado sobre la composición proximal de las semillas. Se evaluó, además, el efecto del secado en el contenido proteico.

En el **Capítulo 5**, se comparó la cinética de secado entre las semillas de quinoa crudas y precocidas y se evaluaron las condiciones de molienda de ambos tipos de semillas en cuanto a sus impactos sobre el rendimiento, almidón dañado, color, fibra dietética y composición proximal de las harinas. Además, se analizó el rendimiento obtenido luego de tamizar las harinas y el efecto de esta operación sobre el contenido de cenizas y proteínas de las harinas de diferente granulometría.

En el **Capítulo 6**, se realizó la caracterización proximal de las harinas obtenidas a partir de las condiciones de molienda óptimas discutidas en el Capítulo anterior y que permitieron obtener los rendimientos más altos para los lotes 2007 a 2011. Se caracterizaron además, los perfiles de aminoácidos de las harinas crudas, se evaluó el efecto de la precocción sobre los perfiles de ácidos grasos y estabilidad oxidativa de las harinas; el contenido de fibra dietética, de azúcares y propiedades de *pasting* del almidón, de las harinas crudas y precocidas, con y sin desengrasado, analizándose posibles aplicaciones alimenticias.

Por último, el **Capítulo 7**, desarrollan las Conclusiones generales a las que se arribó luego del desarrollo de este trabajo.

ABSTRACT

Quinoa, *Chenopodium Quinoa* Willd, is an Andean grain of ancestral origin that presents differences in their physical, chemical and nutritional composition according to the variety, the degree of maturity and the environmental conditions and soil where it is grown. It also supports multiple culinary, domestic or industrial uses and can be consumed by the entire population from 6 months of age and not having gluten-forming proteins, including people with celiac disease can make use of its benefits. In this work they were characterized physical chemically fruits of quinoa variety CICA, from the Departments Molinos (harvest 2007 and 2008) and La Poma (vintages 2009, 2010 and 2011) of the Province of Salta, Argentina, and the effect was analyzed the operations involved in the process of obtaining raw flours and precooked on some components of nutritional interest.

The work was developed in **7 Chapters**:

In **Chapter 1** the general background of plants and fruits of *Chenopodium Quinoa* Willd, history and actual situation, geographic distribution, national and international markets, the nutritional value, the anti-nutritional factors, uses, applications and process of obtaining described flours.

From Chapter 2 to 6, each consisted of the following sections: Introduction and Specific Objectives of the Chapter, Materials and Methods, Results and Discussion and last Partial Conclusions.

In **Chapter 2** the physico-chemical characterization of fruits was done and the nutritional value throughout the process of obtaining flour was tracked. Since this, the chapters were divided according to the stages involved in the process. Thus, in **Chapter 3** the effect of the operation of sorting, cleaning (screening) and debittering on the proximal composition, saponins and mineral seed contains were analyzed; in **Chapter 4**, the cooking procedure of quinoa seeds by steam-pressure is discussed, which allowed to obtain flours with instantaneous reconstitution capability. The loss of some components of nutritional interest, caused by this and other traditional cooking methods were compared, and the effects of selected method and time on the proximal composition of seeds were analyzed. It was also assessed, the effect of drying on the protein content.

In **Chapter 5**, drying kinetics between raw and precooked quinoa seeds were compared and the grinding conditions of both types of seeds and their impact on performance, damaged starch, color, fiber and proximal composition of flours were

evaluated. In addition, the yield obtained after flour sifting and its effect on the ash and flour protein contents from different particles size, was analyzed.

In **Chapter 6**, the proximal characterization of flours obtained from the optimal grinding conditions, discussed in the previous chapter and that allowed the highest yields for lots 2007 to 2011, is discussed. Amino acid profiles were further characterized for raw meal, the effect of precooking on fatty acid profiles and oxidative stability of flour were evaluated; the dietary fiber content, sugar and starch pasting properties in both, raw and precooked meal with and without degreasing, were analyzing for possible food applications.

Finally, **Chapter 7**, develops the general conclusions emerging from this work.

RESUMO

Quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd, é um grão andino de origem ancestral, que apresenta diferenças em suas características físicas, químicas e composição nutricional de acordo com a variedade dos quais, o grau de maturidade e das condições ambientais e do solo onde é cultivada em questão. Ele também suporta culinária múltiplo, usos domésticos ou industriais e podem ser consumidos por toda a população a partir dos 6 meses de idade e não ter proteínas formadoras de glúten, incluindo as pessoas com doença celíaca pode fazer uso de seus benefícios. Neste trabalho foram caracterizados frutos quimicamente físicas do CICA variedade quinoa, dos Departamentos Molinos (colheitas de 2007 e 2008) e La Poma (safra 2009, 2010 e 2011) da Província de Salta, Argentina, e foi analisado o efeito as operações envolvidas no processo de obtenção de farinhas matérias e pré-cozida sobre alguns componentes de interesse nutricional.

O trabalho foi desenvolvido em **7 Capítulos**:

No **Capítulo 1** o contexto geral de plantas e frutos de *Chenopodium quinoa* Willd, sua história e situação atual, distribuição geográfica, os mercados nacionais e internacionais, o valor nutricional, os fatores anti-nutricionais, usa, aplicações e processo de obtenção descrito farinhas.

Do Capítulo 2 a 6, cada um consistiu nas seguintes seções: Introdução e Objectivos específicos do Capítulo, Materiais e métodos, Resultados e Discussão e últimas Conclusões parciais.

No **Capítulo 2**, a caracterização físico-química do fruto a partir do qual controlar o valor nutricional ao longo do processo de obtenção de farinha foi realizado foi desenvolvido. De Capítulo 3 em diante, estes foram divididos de acordo com os passos envolvidos no processo. Assim, no **Capítulo 3**, foram analisados: o efeito da Triagem, Limpeza (screening) e Desamargar sobre a composição proximal, e saponinas e conteúdo mineral em sementes; no **Capítulo 4**, o processo de cozimento sementes de quinoa vapor à pressão rendeu tempo farinha de reconstituição instantânea foi estabelecido e discutido. A perda de alguns componentes de interesse nutricional causada por este e outros métodos de cozimento tradicionais e os efeitos do método e tempo escolhido na composição proximal de sementes analisadas foram comparados. Eles também avaliado o efeito de secagem sobre o teor em proteína.

No **Capítulo 5**, a cinética de secagem foi comparado entre as sementes quinoa cru e pré-cozinhados e condições de moagem de ambos os tipos de sementes história a seu impacto no desempenho, amido danificado, cor, fibra alimentar e composição corporal

foram avaliados farinha. Além disso, o rendimento obtido após peneirar farinha e o efeito desta operação sobre o teor de cinzas e de proteína de farinha de diferentes tamanhos de partículas foi analisada.

No **Capítulo 6**, a caracterização proximal da farinha obtida a partir de moagem condições ideais discutidos no capítulo anterior e que nos permitiu obter o mais elevado para os lotes 2007 e 2011 rendimentos foi realizado foram ainda caracterizadas, perfis de aminoácidos farinha crua, o efeito do pré-cozimento em perfis de ácidos gordos e estabilidade oxidativa foi avaliada farinha; o conteúdo das propriedades das fibras, açúcar e colar de amido na dieta, a farinha crua e pré-cozida, com e sem desengorduramento, analisando possíveis aplicações alimentares.

Finalmente, o **Capítulo 7**, desenvolver conclusões gerais foram chegou após o desenvolvimento deste trabalho.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), ha experimentado un notable incremento en la demanda mundial y consumo por parte de algunos países, a pesar de tratarse de un cultivo que data de miles de años. Este crecimiento fue tal, que el año 2013 fue conmemorado como el “Año Internacional de la Quinoa”. En Argentina, aunque el consumo de quinoa se ha incrementado, la agroindustria es aún incipiente, no se encuentra registrada su composición química en las Tablas Nacionales de Composición Química de los Alimentos (Argenfood, 2015) y la Legislación Alimentaria Nacional incluye solamente los requisitos bromatológicos de la harina que, por los límites máximos permitidos en nutrientes se trataría de una harina refinada. Por otro lado, si bien existen numerosos estudios que aportan datos acerca de su composición química, la mayoría de ellos no pertenecen a nuestro país y hacen referencia a la composición química de un alimento en su estado original que, como es sabido, puede verse notablemente afectada como consecuencia de la aplicación de diversos procesos tecnológicos en el transcurso de la denominada cadena agroalimentaria, ya sea durante la producción, elaboración, transformación y almacenamiento, o bien durante la preparación y utilización final del alimento. La incorporación de este grano a las tablas nacionales de composición química de los alimentos es de gran trascendencia por la importancia que estos datos tienen para la realización investigaciones en nutrición y salud; para la formulación de dietas institucionales y/o terapéuticas, estudios epidemiológicos sobre la relación dieta/salud, educación alimentario-nutricional, elaboración de metas alimentarias, etiquetado nutricional, regulaciones alimentarias, desarrollo de nuevos alimentos y comercio internacional de alimentos (Sammán & Portela, 2010). Por lo tanto, es preciso contar con información nacional para así establecer valores promedio a partir de datos que contemplen la realidad local, a fin de aportar a las tablas nacionales de composición química de alimentos y promover la inclusión al Código Alimentario Argentino de los requisitos bromatológicos de la harina integral quinoa, obtenida de cultivos locales. Paralelamente, es necesario conocer las modificaciones físico químicas y nutricionales que se producirán a medida que los frutos son transformados en harinas, uno de los principales subproductos del grano de quinoa y sus posibles aplicaciones alimentarias.

OBJETIVOS GENERALES

“Caracterizar físico químicamente frutos de *Chenopodium quinoa* Willd variedad CICA, provenientes de la provincia de Salta, Argentina”.

“Estandarizar el proceso de obtención de harinas crudas y precocidas de quinoa y evaluar pérdidas de componentes nutricionales”.

“Caracterizar físico químicamente las harinas crudas y precocidas de quinoa”.

HIPÓTESIS

“Los frutos de quinoa variedad CICA provenientes de los departamentos Molinos (cosechas 2007 y 2008) y La Poma (cosechas 2009 a 2011), provincia de Salta, presentan diferencias en su propiedades físicas y composición química”.

“Se producen modificaciones en el valor nutricional de los frutos de quinoa durante el proceso de obtención de harinas crudas y precocidas de quinoa”.

“Las harinas crudas y precocidas de quinoa presentan diferente composición química y posibilidades de aplicaciones alimentarias”.

LISTADO DE ABREVIATURAS

pb: Densidad Aparente
pt : Densidad Real
 ε : Porosidad
 \varnothing : Esfericidad
 α -ET: Equivalentes de Tocoferol Alfa
AA: Absorción de Agua
aa.: Amino Ácidos
AC: Aguas de Cocción
AD: Almidón Dañado
AG: Ácidos Grasos
AGL: Ácidos Grasos Libres
AGE: Ácidos Grasos Esenciales
AGMI: Ácidos Grasos Monoinsaturados
AGPI: Ácidos Grasos Poliinsaturados
AGS: Ácidos Grasos Saturados
ASB: Albúmina de Suero Bovino
AQ: Almidón de Quinoa
ARL: Azúcares Reductores Libres
AT: Azúcares Totales
BD: *Breakdown*
CA: Cómputo Aminoacídico
CAA: Código Alimentario Argentino
CD: Carbohidratos Disponibles
ES1: Ensayo de Secado 1
ES2: Ensayo de Secado 2
AEDT: Ácido Etilendiaminotetracético
FA: Factores Antinutricionales

FDA: Fibra Detergente Ácida
FDT: Fibra Dietética Total
FV: Viscosidad Final
FQ: Frutos de Quinoa
FCA: Flujo Continuo de Agua
g: Gramo
HPLC: Cromatografía Líquida de alta Resolución
MC: Métodos de Cocción
HP: Harina Precocida
HPD: Harina Precocida Desengrasada
HC: Harina Cruda
HCD: Harina Cruda Desengrasada
h: Hora
H: Hervido
HP: Hervido a Presión
HQ: Harina de Quinoa
IAA: Índice de Absorción de Agua
PC: Pigmentos Carotenoides
RA: Rendimiento Alto
RM: Rendimiento Medio
RB: Rendimiento Bajo
RVA: Analizador Rápido de Viscosidad
s: Segundos
SC: Semillas Crudas
SB: *Setback*
SP: Semillas Precocidas
SQ: Semillas de Quinoa
ST: Sólidos Totales
min: Minutos

MEB: Microscopía Electrónica de Barrido

mm: Milímetro

MM: Molino de Martillos

mL: Mililitros

mod: Modelo

TT: Tocoferoles Totales

TC: Tiempo de Cocción

TOC: Tiempo Óptimo de Cocción

TP: Temperatura de *pasting*

µm: micrómetro

V: Vapor

VP: Vapor-presión

DC: Dienes Conjugados

AL: Acidez Libre

PFT: Polifenoles Totales

PH: Poder de Hinchamiento

%S: Porcentaje de Solubilidad

FM: Fécula de mandioca

FMZ: Fécula de maíz

HAZ: Harina de Arroz

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

HA: Hidroalcohólico

INDICE GENERAL

Dedicatoria,	4
Agradecimientos,	5
Resumen,	6
Abstract,	8
Resumo,	10
Planteamiento de Problema,	12
Objetivos Generales,	13
Hipótesis,	13
Listado de Abreviaturas,	14

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1.	Introducción general,	32
1.1.1.	Antecedentes generales,	32
1.1.2.	Antecedentes históricos y situación actual,	34
1.1.3.	Fruto y Semilla de quinoa,	36
1.1.4.	Producción mundial de quinoa,	41
1.1.5.	Producción de quinoa en Argentina,	41
1.1.6.	Destino de la quinoa de producción nacional,	42
1.1.6.1.	Mercado interno,	42
1.1.6.2.	Exportaciones Argentinas de quinoa y productos derivados,	43
1.1.7.	Valor nutricional,	43
1.1.8.	Hidratos de carbono en quinoa,	45
1.1.8.1.	Almidón,	45
1.1.8.2.	Hidratos de carbono simples y oligosacáridos,	47
1.1.8.3.	Polisacáridos no amiláceos. Generalidades,	47
1.1.9.	Proteína de quinoa,	48
1.1.9.1.	Calidad proteica,	50
1.1.10.	Lípidos y fracción insaponificable en quinoa,	52
1.1.10.1.	Fitoesteroles,	54
1.1.10.1.1.	Efectos biológicos saludables,	55
1.1.10.1.2.	Comparación del contenido de fitoesteroles entre quinoa, cereales y legumbres,	55

- 1.1.10.2. Vitamina E y Carotenoides, 56
 - 1.1.10.2.1. Fuentes y localización de Vitamina E y de Carotenoides, 57
- 1.1.11. Otras Vitaminas y Minerales, 57
- 1.1.12. Factores Antinutricionales (FA), 59
- 1.1.13. Saponinas. Generalidades y particularidades en quinoa, 60
- 1.1.14. Industrialización. Usos reales y potenciales de la quinoa, 62
- 1.1.15. Harina de quinoa (HQ), 63
 - 1.1.15.1. Definiciones legales, 64
 - 1.1.15.2. Formas de presentación de la harina de quinoa, 64
 - 1.1.15.3. Proceso de obtención de harina de quinoa cruda y harina de quinoa recocida, 65
 - 1.1.15.3.1. Recepción de la materia prima, 65
 - 1.1.15.3.2. Limpieza en seco. Clasificación, 66
 - 1.1.15.3.2.1. Forma de las partículas, 66
 - 1.1.15.3.2.2. Tamaño de las partículas, 67
 - 1.1.15.3.2.3. Factores que controlan la velocidad de separación, 68
 - 1.1.15.3.2.4. Capacidad y efectividad de las cribas, 68
 - 1.1.15.3.2.5. Factores que determinan el rendimiento de pasaje de una criba, 69
 - 1.1.15.3.2.6. Inconvenientes del uso del cribado para la clasificación, 69
 - 1.1.15.3.2.7. Clasificación y limpieza de frutos de quinoa, 69
 - 1.1.15.3.2.7.1. Limpieza y clasificación tradicional, 69
 - 1.1.15.3.2.7.2. Limpieza y clasificado mejorado, 70
 - 1.1.15.3.2.7.3. Limpieza y clasificado industrial, 70
 - 1.1.15.3.3. Desamargado de los frutos de quinoa, 70
 - 1.1.15.3.4. Cocción de las semillas de quinoa, 71
 - 1.1.15.3.5. Secado de las semillas de quinoa, 72
 - 1.1.15.3.5.1. Clasificación de los secadores, 73
 - 1.1.15.3.5.2. Deshidratación por aire caliente. Psicrometría, 75
 - 1.1.15.3.5.3. Parámetros del secado de granos, 76
 - 1.1.15.3.6. Molienda Seca, 77
 - 1.1.15.3.6.1. Mecanismos de reducción de tamaño en sólidos, 78
 - 1.1.15.3.6.2. Eficiencia de la molienda (Triturado), 79
 - 1.1.15.3.6.3. Eficiencia mecánica, 79
 - 1.1.15.3.6.4. Tipos de molinos, 79
 - 1.1.15.3.6.5. Factores que influyen en la reducción de tamaño, 81
 - 1.1.15.3.6.6. Molienda de semillas de quinoa, 82
 - 1.1.15.3.7. Embolsado y Almacenamiento, 83

CAPÍTULO 2

Caracterización físico-química de los Frutos de Quinoa (FQ).

- 2.1. Introducción al capítulo, 84
- 2.2. Objetivos específicos del capítulo, 86
- 2.3. Materiales y Métodos, 87
 - 2.3.1. Material vegetal, 87
 - 2.3.2. Caracterización Física de los frutos de quinoa, 87
 - 2.3.2.1. Rendimiento durante el tamizado, 87
 - 2.3.2.2. Propiedades gravimétricas, 87
 - 2.3.2.2.1. Masa de los frutos, 87
 - 2.3.2.2.2. Densidad aparente (ρ_b), 88
 - 2.3.2.2.3. Densidad real (ρ_t), 88
 - 2.3.2.2.4. Porosidad (ϵ), 88
 - 2.3.2.3. Tamaño y forma de los frutos de quinoa, 89
 - 2.3.2.3.1. Dimensiones, 89
 - 2.3.2.3.2. Diámetro equivalente, 89
 - 2.3.2.3.3. Esfericidad (ϕ), 89
 - 2.3.2.4. Determinación del color en los frutos de quinoa, 90
 - 2.3.3. Caracterización Química de los frutos de quinoa, 90
 - 2.3.3.1. Determinación de la composición química-proximal, 90
 - 2.3.3.1.1. Determinación del contenido de humedad, 90
 - 2.3.3.1.2. Determinación del contenido de proteínas, 90
 - 2.3.3.1.3. Determinación del contenido de cenizas, 91
 - 2.3.3.1.4. Determinación del contenido de lípidos, 91
 - 2.3.3.1.5. Cálculo del contenido de hidratos de carbono, 97
 - 2.3.3.2. Determinación del contenido de saponinas, 92
 - 2.3.3.3. Determinación de pigmentos carotenoides, 93
 - 2.3.3.4. Determinación del contenido mineral, 93
 - 2.3.4. Análisis estadístico, 93
- 2.4. Resultados y Discusión, 93
 - 2.4.1. Caracterización física de los frutos de quinoa, 93
 - 2.4.1.1. Porcentaje de retención de frutos durante el tamizado, 93
 - 2.4.1.2. Tamaño y forma de los frutos, 95
 - 2.4.1.3. Propiedades gravimétricas, 97
 - 2.4.1.4. Color de los frutos de quinoa, 99
 - 2.4.2. Caracterización química de los frutos de quinoa, 99
 - 2.4.2.1. Composición química proximal y contenido de saponinas, 99

2.4.2.2. Contenido de pigmentos carotenoides en frutos de quinoa, 101

2.4.2.3. Composición mineral, 102

2.5. Conclusiones parciales, 102

CAPÍTULO 3

Acondicionamiento de los Frutos de Quinoa (FQ). Efecto sobre algunos componentes de importancia nutricional.

3.1. Introducción al Capítulo, 103

3.2. Objetivos específicos del Capítulo, 105

3.3. Materiales y Métodos, 106

3.3.1. Material vegetal, 106

3.3.2. Parte 1, 106

3.3.2.1. Determinación del porcentaje de retención de finos en el ciego, 106

3.3.2.2. Determinación del contenido de proteínas en frutos de quinoa tamizados a diferentes tiempos, 106

3.3.3. Parte 2, 107

3.3.3.1. Desamargado de frutos de quinoa con solución hidroalcohólica y agitación, 107

3.3.3.2. Desamargado de frutos de quinoa por flujo continuo de agua, 107

3.3.3.3. Determinación del contenido proteico y de cenizas en semillas de quinoa desamargadas, 107

3.3.4. Parte 3, 107

3.3.4.1. Desamargado de los frutos de quinoa con etanol mediante extracción continua con Soxhlet, 107

3.3.4.2. Desamargado de los frutos de quinoa por flujo continuo de agua, 108

3.3.4.3. Capacidad de Absorción de Agua de las semillas de quinoa, 108

3.3.4.4. Análisis proximal de las semillas de quinoa, 108

3.3.4.5. Determinación del contenido de saponinas en semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua, 108

3.3.4.6. Determinación del contenido mineral en semillas de quinoa, 108

3.3.5. Secado de las semillas de quinoa, 108

3.3.6. Análisis estadístico, 108

3.4. Resultados y Discusión, 109

3.4.1. Parte 1, 109

3.4.2. Parte 2, 109

3.4.2.1. Contenido de proteínas de las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con solución hidroalcohólica durante diferentes tiempos, 109

3.4.2.2. Contenido de cenizas de las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con solución hidroalcohólica durante diferentes tiempos, 110

3.4.3. Parte 3, 111

3.4.3.1. Composición química-proximal de las semillas de quinoa, 111

3.4.3.2. Efecto del proceso de desamargado por flujo continuo de agua sobre el contenido de cenizas, proteínas y grasas de las semillas de quinoa, 112

3.4.3.3. Capacidad de Absorción de Agua de las semillas de quinoa, 113

3.4.3.4. Contenido de minerales en semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con etanol, 114

3.4.3.5. Contenido de saponinas en las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua, 116

3.5. Conclusiones parciales, 118

CAPÍTULO 4

Proceso de obtención de Semillas Precocidas (SP). Efecto sobre algunos componentes de importancia nutricional.

4.1. Introducción al Capítulo, 120

4.2. Objetivos específicos del Capítulo, 123

4.3. Materiales y Métodos, 124

4.3.1. Material vegetal, 124

4.3.2. Parte 1, 131

4.3.2.1. Determinación del tiempo de cocción de las semillas de quinoa, 124

4.3.2.2. Ensayos de dispersabilidad de las harinas precocidas de quinoa, 124

4.3.2.3. Determinación de los sólidos totales en las aguas de cocción de las semillas de quinoa, 125

4.3.2.4. Curva de cocción mediante vapor-presión de las semillas de quinoa, 125

4.3.2.4.1. Estimación teórica de la temperatura interna de la marmita, 126

4.3.2.5. Descripción de los procedimientos de cocción de las semillas de quinoa, 126

4.3.2.6. Comparación de pérdidas nutricionales según el método de cocción de las semillas de quinoa, 126

4.3.2.6.1. Determinación de proteínas y sólidos totales en las aguas de cocción, 126

4.3.3. Parte 2, 127

4.3.3.1. Procedimientos de cocción aplicados a semillas de quinoa, 127

4.3.3.2. Determinación de proteínas y sólidos en las aguas de cocción de semillas de quinoa, 127

4.3.3.3. Determinación de tocoferoles totales en aceite de semillas de quinoa sometidas a distintos métodos de cocción, 127

4.3.3.4. Determinación del tiempo óptimo de cocción de las semillas de quinoa, 128

4.3.3.5. Fotografías de las semillas precocidas de quinoa de quinoa, 129

- 4.3.3.6. Determinación la absorción de agua y humedad de las semillas de quinoa cocidas y precocidas, 129
- 4.3.4. Parte 3, 129
 - 4.3.4.1. Determinación de minerales en semillas precocidas de quinoa, 129
 - 4.3.4.2. Determinación de proteínas en semillas de quinoa de quinoa con y sin precocción, con y sin secado, 129
- 4.3.5. Parte 4, 130
 - 4.3.5.1. Minerales en las aguas de cocción, 130
 - 4.3.5.2. Determinación de sólidos totales en las aguas de cocción, 131
 - 4.3.5.3. Determinación de proteínas en las aguas de cocción, 131
 - 4.3.5.4. Determinación de azúcares reductores libres en las aguas de cocción, 131
 - 4.3.5.5. Determinación del contenido de glucosa en las aguas de cocción, 131
- 4.3.6. Análisis estadístico, 131
- 4.4. Resultados y Discusión, 132
 - 4.4.1. Parte 1. Obtención de semillas precocidas, 132
 - 4.4.1.1. Determinación del tiempo de cocción en la cocción por vapor-presión de las semillas de quinoa para obtener harina de reconstitución instantánea, 132
 - 4.4.1.2. Comparación de la pérdida de proteínas y sólidos totales a los dos rangos de tiempos de cocción analizados, 132
 - 4.4.1.3. Determinación de la temperatura interna de la marmita, durante la precocción de semillas de quinoa (vapor-presión:10-11 min), 133
 - 4.4.1.4. Comparación de la pérdida de sólidos totales y proteínas entre métodos de cocción tradicionales, 133
 - 4.4.2. Parte 2, 134
 - 4.4.2.1. Porcentaje de semillas de quinoa cocidas, 134
 - 4.4.2.2. Porcentaje de absorción de agua y humedad en las semillas de quinoa luego de someterlas a los distintos tiempos y métodos de cocción, 137
 - 4.4.2.3. Tocoferoles totales en aceite de semillas de quinoa sometidas a diferentes tiempos y métodos de cocción, 141
 - 4.4.2.4. Pérdida de sólidos totales en las aguas de cocción, 146
 - 4.4.2.5. Pérdida de proteínas solubles en las aguas de cocción, 148
 - 4.4.3. Parte 3, 152
 - 4.4.3.1. Efecto del tratamiento de precocción (vapor-presión:10-11 min) y secado de las semillas de quinoa sobre el contenido proteico, 152
 - 4.4.3.2. Efecto del tratamiento de precocción (vapor-presión:10-11 min) sobre el contenido mineral las semillas de quinoa, 153
 - 4.4.4. Parte 4, 154

- 4.4.4.1. Análisis de pérdidas nutricionales durante la cocción de semillas de quinoa (vapor-presión: 10-11 min) de los lotes 2007 a 2011, 154
- 4.4.4.2. Composición química-proximal de las semillas de quinoa precocidas (vapor-presión: 10-11min), 156
- 4.4.4.3. Efecto de la precocción sobre la composición proximal de las semillas de quinoa, 157
- 4.5. Conclusiones parciales, 158

CAPÍTULO 5

Secado y Molienda de Semillas de Quinoa (SQ) crudas (SC) y precocidas (SP). Impacto de las condiciones de molienda sobre algunos componentes de importancia nutricional.

- 5.1. Introducción al Capítulo, 159
- 5.2. Objetivos específicos del Capítulo, 161
- 5.3. Materiales y Métodos, 162
 - 5.3.1. Material vegetal, 162
 - 5.3.2. Parte 1, 162
 - 5.3.2.1. Efecto de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa sobre el contenido de proteínas de sus harinas, 162
 - 5.3.2.1.1. Determinación del contenido de proteínas, 162
 - 5.3.3. Parte 2, 162
 - 5.3.3.1. Secado de las semillas crudas y precocidas de quinoa, 162
 - 5.3.3.1.1. Ensayo de Secado 1 (ES1), 163
 - 5.3.3.1.2. Ensayo de Secado 2 (ES2), 163
 - 5.3.3.2. Determinación del contenido de humedad y porcentaje de agua perdida de las semillas durante el proceso de secado, 164
 - 5.3.3.3. Diseño experimental de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa, 164
 - 5.3.3.4. Calibración del dosificador de semillas de quinoa, 165
 - 5.3.3.5. Molienda de las semillas crudas y precocidas de quinoa. Cálculo del rendimiento, 167
 - 5.3.3.6. Determinación de la composición química proximal de las harinas crudas y precocidas, 167
 - 5.3.3.7. Determinación de Fibra Detergente Ácida (FDA) en las harinas crudas y precocidas de quinoa, 168
 - 5.3.3.8. Determinación del contenido de Fibra Dietética Total (FDT) en las harinas crudas y precocidas de quinoa, 168
 - 5.3.3.9. Determinación de almidón dañado (%AD) en harinas crudas de quinoa, 168
 - 5.3.3.10. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), 169

- 5.3.4. Rendimiento de las harinas crudas y precocidas de quinoa tamizada, 169
- 5.3.5. Efecto del tamizado sobre el contenido de cenizas y proteínas de la harina cruda de quinoa, 169
- 5.3.6. Determinación de los parámetros de color L*a* y b* en las harinas crudas y precocidas de quinoa, 169
- 5.3.7. Análisis sensorial de las HP de quinoa, 170
- 5.3.8. Análisis estadístico, 170
- 5.4. Resultados y Discusión, 170
 - 5.4.1. Parte 1, 170
 - 5.4.1.1. Contenido de proteínas en las harinas crudas y precocidas de quinoa obtenidas bajo condiciones de humedad y velocidad de dosificación del molino desconocidas, 170
 - 5.4.2. Parte 2, 171
 - 5.4.2.1. Cinética de secado de semillas crudas y precocidas de quinoa, 171
 - 5.4.2.1.1. Ensayo de Secado 1, 171
 - 5.4.2.1.2. Ensayo de Secado 2, 174
 - 5.4.2.2. Rendimiento harinero de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa, 179
 - 5.4.2.3. Composición química-proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa, 182
 - 5.4.2.4. Contenido de FDA, FDT y CD en harinas crudas y precocidas de quinoa, 184
 - 5.4.2.5. Rendimiento de harina tamizada, 186
 - 5.4.2.6. Efecto del tamizado sobre el contenido de cenizas y proteínas en la harina cruda de quinoa, 188
 - 5.4.2.7. Parámetros de color L*a* y b* en harinas crudas y precocidas de quinoa, 190
 - 5.4.2.8. Contenido de Almidón Dañado (AD%) en las harinas crudas de quinoa, 193
 - 5.4.2.9. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), 195
- 5.5. Conclusiones parciales, 195

CAPÍTULO 6

Caracterización de las Harinas Crudas (HC) y Harinas Precocidas (HP) de quinoa.

- 6.1. Introducción al Capítulo, 197
- 6.2. Objetivos específicos del Capítulo, 199
- 6.3. Materiales y Métodos, 199
 - 6.3.1. Material vegetal, 200
 - 6.3.2. Obtención de harinas crudas y precocidas de quinoa, 200
 - 6.3.3. Determinación de la composición química proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa, 200
 - 6.3.4. Caracterización del perfil de aminoácidos y calidad proteica de harinas crudas de quinoa, 200

- 6.3.4.1. Determinación del perfil de aminoácidos de las harinas crudas de quinoa, 200
- 6.3.4.2. Cálculo del cómputo aminoacídico, 201
- 6.3.4.3. Cálculo de cómputo aminoacídico corregido por la digestibilidad teórica, 201
- 6.3.5. Caracterización del perfil de ácidos grasos y estabilidad oxidativa de harina cruda y precocida de quinoa, 202
 - 6.3.5.1. Determinación del perfil de ácidos grasos, 202
 - 6.3.5.2. Estabilidad oxidativa de la harina cruda y precocida de quinoa, 202
- 6.3.6. Caracterización de los hidratos de carbono, 202
 - 6.3.6.1. Determinación del contenido de fibra detergente ácida, fibra dietética total, y carbohidratos disponibles de las harinas crudas y precocidas de quinoa, 202
 - 6.3.6.2. Determinación espectrofotométrica de azúcares reductores libres en harinas crudas y precocidas de quinoa, 202
 - 6.3.6.3. Determinación de azúcares reductores libres por titulación potenciométrica redox en harina cruda y precocida de quinoa, 203
 - 6.3.6.4. Determinación de azúcares totales en harina cruda de quinoa, 205
 - 6.3.6.5. Determinación del contenido de glucosa en harinas crudas y precocidas de quinoa, 205
 - 6.3.6.6. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), 205
 - 6.3.6.7. Determinación del contenido de amilosa en harina cruda de quinoa, 205
 - 6.3.6.8. Análisis de las propiedades de *pasting* de las harinas crudas y precocidas de quinoa, almidón de quinoa, fécula de mandioca, almidón de maíz y harina de arroz, 206
 - 6.3.6.9. Determinación de las propiedades de hidratación: poder de hinchamiento, porcentaje de solubilidad e índice de absorción de agua, 206
- 6.3.7. Otras determinaciones en las harinas crudas y precocidas de quinoa, 207
 - 6.3.7.1. Determinación de polifenoles totales, 207
 - 6.3.7.2. Determinación de pigmentos carotenoides en harinas crudas y precocidas de quinoa, 207
- 6.4. Resultados y discusiones, 208
 - 6.4.1. Composición química-proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa, 208
 - 6.4.2. Caracterización del perfil de aminoácidos y calidad proteica de las harinas crudas de quinoa, 208
 - 6.4.2.1. Perfil de aminoácidos de las harinas crudas de quinoa, 208
 - 6.4.2.2. Cómputo aminoacídico de las harinas crudas de quinoa, 210
 - 6.4.3.3. Cómputo aminoacídico corregido por la digestibilidad teórica, 213
 - 6.4.3. Caracterización del perfil de ácidos grasos y estabilidad oxidativa de harinas cruda y precocida de quinoa, 214
 - 6.4.3.1. Perfil de ácidos grasos, 217
 - 6.4.3.2. Estabilidad oxidativa de las harinas crudas y precocidas de quinoa, 233

- 6.4.4. Caracterización de los hidratos de carbono, 219
 - 6.4.4.1. Contenido de fibra dietética total, fibra detergente ácida y carbohidratos disponibles en harinas crudas y precocidas de quinoa, 219
 - 6.4.4.2. Azúcares reductores libres en harinas crudas y precocidas de quinoa, 220
 - 6.4.4.3. Contenido de azúcares reductores libres y azúcares totales medidos por titulación potenciométrica redox en harina cruda de quinoa, 221
 - 6.4.4.4. Contenido de glucosa en harinas crudas y precocidas de quinoa, 222
 - 6.4.4.5. Microscopías electrónicas del almidón de quinoa, 224
 - 6.4.4.6. Contenido de amilosa en almidón de quinoa, 224
 - 6.4.4.7. Propiedades de *pasting* de las harinas crudas y precocidas con y sin desengrasar, almidón de quinoa, fécula de mandioca, almidón de maíz y harina de arroz, 224
 - 6.4.4.8. Propiedades de hidratación: poder de hinchamiento, porcentaje de solubilidad e índice de absorción de agua, 231
- 6.4.5. Otros componentes de interés nutricional, 234
 - 6.4.5.1. Contenido de Polifenoles totales en harinas crudas y precocidas de quinoa, 234
 - 6.4.5.2. Pigmentos carotenoides en harinas crudas y precocidas de quinoa, 236
- 6.5. Conclusiones parciales, 237

Capítulo 7

- 7.1. Conclusiones generales, 240
- 7.2. Bibliografía, 245

ANEXOS

- CAPÍTULO 2, 255
- CAPÍTULO 3, 263
- CAPÍTULO 4, 270
- CAPÍTULO 5, 283
- CAPÍTULO 6, 302

INDICE DE TABLAS

Capítulo 1

- Tabla 1.1.** Producción mundial de quinoa, período 2003-2012. **Pág. 41.**
- Tabla 1.2.** Composición nutricional de los granos de quinoa. **Pág. 44.**
- Tabla 1.3.** Comparación de la composición química entre cereales y granos andinos. **Pág. 45.**
- Tabla 1.4.** Componentes de la fibra dietética en quinoa. **Pág. 48.**
- Tabla 1.5.** Comparación del contenido de aminoácidos entre quinoa y otros cereales. **Pág. 50.**
- Tabla 1.6.** Perfil de ácidos grasos de quinoa, maíz y soja. **Pág. 54.**
- Tabla 1.7.** Contenido de β -sitosterol, campesterol, estigmasterol en quinoa, algunos cereales y legumbres. **Pág. 55.**
- Tabla 1.8.** Minerales en cereales y pseudocereales. **Pág. 58.**
- Tabla 1.9.** Principales vitaminas en quinoa. Comparación con cereales. **Pág. 59.**
- Tabla 1.10.** Clasificación de los métodos de cocción. **Pág. 71.**

Capítulo 2

Tabla 2.1. Porcentaje (%) de retención de los frutos durante el tamizado. **Pág. 94.**

Tabla 2.2. Medidas ortogonales, diámetro equivalente, esfericidad y humedad de los frutos de quinoa. **Pág. 95.**

Tabla 2.3. Clasificación de los frutos de quinoa según su tamaño. **Pág. 97.**

Tabla 2.4. Peso, densidad y porosidad de los frutos de quinoa. **Pág. 98.**

Tabla 2.5. Valores $L^*a^*b^*$. **Pág. 99.**

Tabla 2.6. Composición proximal y contenido de saponinas de los frutos de quinoa. **Pág. 100.**

Tabla 2.7. Composición mineral de los frutos de quinoa. **Pág.102.**

Capítulo 3

Tabla 3.1. Porcentaje de retención de finos en el ciego y contenido de proteínas en frutos de quinoa tamizados a diferentes tiempos. **Pág. 109.**

Tabla 3.2. Composición química proximal de las semillas de quinoa. **Pág. 111.**

Tabla 3.3. Capacidad de absorción de agua de las semillas de quinoa y contenido de humedad después del proceso de desamargado por flujo continuo de agua. **Pág. 113.**

Tabla 3.4. Contenido de Ca, Fe, Zn, Mg, Pb y Cd en frutos y semillas de quinoa desaponificadas por flujo continuo de agua y con etanol. **Pág. 114.**

Tabla 3.5. Contenido de saponinas en semillas de quinoa. **Pág. 116.**

Capítulo 4

Tabla 4.1. Resultados cualitativos del ensayo de dispersabilidad de las harinas precocidas. **Pág. 132.**

Tabla 4.2. Pérdida de ST en función del TC. **Pág. 132.**

Tabla 4.3. Comparación de la pérdida de proteínas y sólidos entre métodos de cocción. **Pág. 133.**

Tabla 4.4. Porcentaje de semillas de quinoa cocidas según el tiempo y método de cocción. **Pág. 135.**

Tabla 4.5.A Porcentaje de humedad de las semillas de quinoa cocidas. **Pág. 140.**

Tabla 4.5.B. Intervalos de Confianza (95%) del porcentaje de humedad a cada TC para los MC: H y HP. **Pág. 140.**

Tabla 4.6. Contenido de TT en SQ cocidas por distintos MC y TC. **Pág. 145.**

Tabla 4.7. Contenido de tocoferoles en distintos aceites comerciales. **Pág. 145.**

Tabla 4.8. Intervalos de Confianza (95%) para los contenidos TT en aceite de quinoa según los MC. **Pág. 145.**

Tabla 4.9. Contenido de minerales en SQ precocidas (VP: 10-11 min). **Pág. 156.**

Tabla 4.10. Pérdida de ST, proteínas, ARL y glucosa durante la cocción de SQ de todos los lotes. **Pág. 154.**

Tabla 4.11. Intervalos de Confianza (95%) establecidos para las pérdidas nutricionales en las AC durante la precocción de SQ (VP: 10-11 min) en los lotes 2007 a 2011. **Pág. 155.**

Tabla 4.12. Intervalos de Confianza (95%) establecidos con las Partes 1, 2 y 4 del capítulo, para las pérdidas nutricionales en las AC durante la precocción SQ (VP: 10-11 min). **Pág. 156.**

Tabla 4.13. Proporción de pérdida de proteínas, ARL, glucosa, Ca y Mg en relación a la pérdida total. **Pág. 156.**

Tabla 4.14. Composición química proximal de SQ precocidas (VP: 10-11 min). **Pág. 156.**

Capítulo 5

Tabla 5.1. Variables y niveles estudiados. **Pág. 165.**

Tabla 5.2. Matriz de diseño $L_8(2^7)$. **Pág. 165.**

Tabla 5.3. Efecto del tratamiento (Precocción, Secado y/o Molienda) sobre el contenido de proteínas de SQ y HQ. **Pág. 170.**

Tabla 5.4. Contenido de humedad de SC y SP de quinoa secada a diferentes tiempos. *Ensayo de Secado 1*. **Pág. 173.**

Tabla 5.5. Contenido de humedad de las SC de quinoa secadas a diferentes tiempos. Intervalos de Confianza (95%). **Pág. 176.**

Tabla 5.6. Contenido de humedades de SC y SP de quinoa secadas a diferentes tiempos. *ES 2*. **Pág. 178.**

Tabla 5.7. Contenido de humedad de las SP de quinoa secadas a diferentes tiempos. Intervalos de Confianza (95%). **Pág. 179.**

Tabla 5.8. Rendimiento en harina de la molienda de SC y SP de quinoa. **Pág. 180.**

Tabla 5.9. A y B. Hidratos de Carbono Totales, FDT, FDA y Carbohidratos Disponibles en HC y HP de quinoa obtenidas con RA, RM y RB. **Pág. 184 y 185.**

Tabla 5.10. Distribución del tamaño de partículas en HC y HP de quinoa durante el tamizado. **Pág. 187.**

Capítulo 6

Tabla 6.1. Composición química-proximal de las HQ. **Pág. 208.**

Tabla 6.2. Contenido de aa de las HC de quinoa. **Pág. 209.**

Tabla 6.3. Contenido de AA. de cereales, leche y quinoa. **Pág. 210.**

Tabla 6.4. Cómputo Aminoacídico de las HC de quinoa. A. Preescolares; B. Escolares; C. Adultos. **Pág. 210 y 211.**

Tabla 6.5. Principales AG de los aceites de quinoa extraídos. **Pág. 215.**

Tabla 6.6. Efecto del procesamiento en el contenido de los principales AG del aceite de quinoa. Comparación con datos bibliográficos. **Pág. 216.**

Tabla 6.7. Acidez Libre y Dienes Conjugados en HC y HP de quinoa. **Pág. 234.**

Tabla 6.8. Contenido de FDT, FDA y CD en HQ. **Pág. 219 y 220.**

Tabla 6.9. ARL en HC y HP de quinoa. **Pág. 220.**

Tabla 6.10. ARL y AT en HQ. **Pág. 220.**

Tabla 6.11. Contenido de glucosa en HC y HP de quinoa. **Pág. 222.**

Tabla 6.12. Contenido de amilosa en las HC de quinoa. **Pág. 224.**

Tabla 6.13. Propiedades de *pasting* de los almidones. **Pág. 226.**

Tabla 6.14. Propiedades de *pasting* de las HC y HP de quinoa de con y sin grasa. **Pág. 229.**

Tabla 6.15. Propiedades de hidratación (IAA, PH y % S) del AQ, FMZ y HA. **Pág. 220.**

Tabla 6.16. Propiedades de hidratación (IAA, PH, %S) de las HQ. **Pág. 223.**

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1. Planta modelo de quinoa. **Pág. 33.**

Figura 1.2. Panojas de quinoa. **Pág. 34.**

Figura 1.3. Formas de grano de quinoa. **Pág. 36.**

Figura 1.4. Vista ventral del Fruto de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) al Microscopio Electrónico de Barrido. **Pág. 37.**

Figura 1.5. Sección Longitudinal media del fruto de quinoa. **Pág. 37.**

Figura 1.6. Células del perisperma con los gránulos de almidón de quinoa. **Pág. 38.**

Figura 1.7. A) Semilla; B) Sección longitudinal media de la semilla, perisperma y embrión; C) Tinción de las semillas con Ácido Nítrico (Proteínas); D) Tinción de las semillas con lugol (Almidón); E) Tinción de las semillas con Sudan IV (Lípidos) y F) Tinción de las semillas con reactivo de Schweitzer (Celulosa). **Pág. 40.**

Figura 1.8. Microfotografía electrónica de barrido de almidón de quinoa. **Pág. 47.**

Figura 1.9. Estructura del tocol, tocoferoles y tocotrienoles. **Pág. 56.**

Figura 1.10. Estructura de las Saponinas Tipo A y B de quinoa. **Pág. 61.**

Figura 1.11. Usos del grano de quinoa. **Pág. 62.**

Figura 1.12. Usos de los constituyentes mayoritarios del grano. **Pág. 63.**

Figura 1.13. Diagrama de flujo para la obtención de quinoa perlada, HC y HP. **Pág. 65.**

Figura 1.14. Movimientos de tamices. **Pág. 68.**

Figura 1.15. Flujo de gas sobre un lecho estático de sólidos. **Pág. 73.**

Figura 1.16. Flujo de gas que atraviesa el lecho de sólidos entre las partículas. **Pág. 74.**

Figura 1.17. Secadores rotatorios. **Pág. 74.**

Figura 1.18. Lecho fluidizado. **Pág. 74.**

Figura 1.19. Flujo del gas-sólido a favor de corriente en un secador neumático. **Pág. 75.**

Figura 1.20. Molino de martillo. **Pág. 79.**

Figura 1.21. Molino de rodillos. **Pág. 80.**

Figura 1.22. Molino de bolas. **Pág. 81.**

Capítulo 2

Figura 2.1. Dimensiones de las semillas de quinoa: Ancho, largo y espesor (mm). **Pág. 89.**

Figura 2.2. Efecto del lote sobre el contenido de PC en FQ. **Pág. 101.**

Capítulo 3

Figura 3.1. Efecto del tipo y tiempo de desamargado sobre el contenido de proteínas en semillas de quinoa. **Pág. 110.**

Figura 3.2. Efecto del Tipo y Tiempo de desamargado sobre el contenido de cenizas en SQ. **Pág. 111.**

Figura 3.3. Efecto del proceso de desamargado por flujo continuo de agua de los frutos de quinoa sobre el contenido de lípidos, cenizas y grasas de las semillas. **Pág. 112.**

Figura 3.4. Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de saponinas de las SQ. **Pág. 117.**

Capítulo 4

Figura 4.1. Curva temperatura interior y exterior de la marmita durante la de cocción de semillas de quinoa por vapor-presión. **Pág. 133.**

Figura 4.2. Fotografía de las semillas de quinoa cocidas y precocidas 10 min por los distintos métodos de cocción. **Pág. 136.**

Figura 4.3. Semillas de quinoa cocidas por vapor: 20 min. **Pág. 136.**

Figura 4.4. Semillas de quinoa cocidas por hervido: 20 min. **Pág. 137.**

Figura 4.5.A. Porcentaje de absorción de agua de las semillas de quinoa según el método de cocción. **Pág. 138.**

Figura 4.5.B. Porcentaje absorción de agua de las semillas de quinoa según el tiempo de cocción. **Pág. 138.**

Figura 4.5.C. Porcentaje de absorción de agua de las semillas de quinoa según el método y tiempo de cocción. **Pág. 139.**

Figura 4.6. Contenido de tocoferoles según MC. **Pág. 141.**

Figura 4.7. Contenido de tocoferoles según tiempo de cocción. **Pág. 142.**

Figura 4.8. Contenido de tocoferoles según volumen de agua. **Pág. 142.**

Figura 4.9. Contenido de TT en aceites de SQ cocidas por diferentes MC y TC. **Pág. 143.**

Figura 4.10.A Pérdida de ST según el MC. **Pág. 146.**

Figura 4.10.B Pérdida de STsegún el TC. **Pág. 147.**

Figura 4.11 Pérdida de ST según el MC y TC. **Pág. 148.**

Figura 4.12.A Pérdida de proteínas según el MC. **Pág. 149.**

Figura 4.12.B. Pérdida de proteínas según el TC. **Pág. 150.**

Figura 4.13. Pérdida de proteínas según la interacción MC: TC. **Pág. 150.**

Figura 4.14. Comparación de las pérdidas de ST entre los resultados obtenidos en las *Partes 1 y 2* del trabajo. **Pág. 151.**

Figura 4.15. Contenido de proteínas en semillas lavadas crudas y cocidas, con y sin secado. **Pág. 152.**

Figura 4.16. Comparación de las pérdidas de proteínas (mg/100 g semillas) entre los resultados abordados en las *Partes 1 y 3* del trabajo. **Pág. 155.**

Figura 4.17. Efecto del tratamiento de precocción (VP: 10-11 min) sobre el contenido de cenizas, grasas y proteínas de las SQ. **Pág. 157.**

Capítulo 5

Figura 5.1. Secador de lecho fluidizado. **Pág. 163.**

Figura 5.2. Centrifuga. **Pág. 164.**

Figura 5.3. Vista del dosificador, en posición sobre la boca de alimentación del molino. **Pág. 166.**

Figura 5.4. Selector de velocidades del dosificación (RPM). **Pág. 166.**

Figura 5.5. Cinética de secado de SC de quinoa. **Pág. 172.**

Figura 5.6. Cinética de secado de SP de quinoa. **Pág. 173.**

Figura 5.7. Comparación de la cinética de secado de SC en los *ES 1 y 2*. **Pág. 175.**

Figura 5.8. Curva de Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%) durante el secado de las SC de quinoa a 50°C. **Pág. 176.**

Figura 5.9. Comparación de la cinética de secado de SP de quinoa en los *ES 1* y *2*. **Pág 177.**

Figura 5.10. Comparación en el contenido de grasas, proteínas y cenizas entre las SC y SP de quinoa empleadas en el ensayo de molienda. **Pág. 182.**

Figura 5.11. A. Contenido de Proteínas. **B.** Grasas y **C.** Ceniza en las HC y HP obtenida con RA, RM y RA. **Pág. 183.**

Figura 5.12. Contenido de proteínas de las HC de quinoa tamizadas. **Pág. 189.**

Figura 5.13. Contenido de cenizas de las HC de quinoa tamizadas. **Pág. 189.**

Figura 5.14.A. Parámetro L* en HC y HP de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda. **Pág. 191.**

Figura 5.14.B. Parámetro a* en HC y HP de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda. **Pág. 192.**

Figura 5.14.C. Parámetro b* en HC y HP de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda. **Pág. 193.**

Figura 5.15. Contenido de almidón dañado en las HC de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda. **Pág. 192.**

Figura 5.16 (A y B). Microfotografías de HQ. **Pág. 195.**

Capítulo 6

Figura 6.1. CA corregido por digestibilidad. A. Preescolares; B. Escolares; C. Adultos. **Pág. 213.**

Figura 6.2. (A y B). Microestructura de gránulos de almidón de quinoa. **Pág. 223.**

Figura 6.3. Curva representativa de *pasting*. **Pág. 225.**

Figura 6.4. Curvas de RVA de almidones de quinoa, maíz, arroz y mandioca. **Pág. 226.**

Figura 6.5. Efecto del tratamiento (HR, HP, HCD y HPD) sobre las propiedades de *pasting* de las HQ. **Peg. 228.**

Figura 6.6. Efecto del Lote sobre el contenido de PFT en HC y HP de quinoa. **Pág. 234.**

Figura 6.7. Efecto del Tratamiento (HC vs. HP) sobre el contenido de PFT. **Pág. 234.**

Figura 6.8. Efecto del Lote sobre el contenido de PFT en HC y HP de quinoa. **Pág. 236.**

Figura 6.9. Efecto del Tratamiento (HC vs. HP) sobre el contenido de PC. **Pág. 237.**

Capítulo 1

1.1. Introducción general.

1.1.1. Antecedentes generales.

La quinua, quinoa o quínoa, cuyo nombre científico es *Chenopodium quinoa* Willd (Hunziker, 1943) es una planta asociada a la subfamilia Chenopodioideae y familia(s) Chenopodiaceae y/o Amaranthaceae (Abugoch James, 2009; Padrón Pereira, *et al.*, 2014). Recibe diferentes nombres en el área andina que varían entre localidades y de un país a otro, así como también recibe nombres fuera del área andina que varían con los diferentes idiomas. Así por ejemplo; en español es llamada: Quinua, Quinoa, Quingua, Triguillo, Trigo Inca, Arrocillo, Arroz del Perú, Kinoa (Mujica, 1996).

Pertenece al grupo de los pseudocereales al igual que el amaranto y el trigo sarraceno (AACC, 2006; Álvarez Jubete *et al.*, 2009). La clasificación como pseudocereales o falsos cereales tiene su fundamento en que no pertenecen a la misma familia botánica que los cereales (Poaceae), sin embargo, posee características químicas y usos en la nutrición humana semejantes a los cereales (Hunziker, 1952; Abugoch James, 2009). A diferencia de ellos, los granos de pseudocereales son dicotiledóneas y pertenecen a los géneros *Amaranthus*, *Chenopodium* y *Fagopyrum* (AACC, 2006, Abugoch James, 2009; Vega Gálvez *et al.*, 2010). Con la denominación de la especie *Chenopodium quinoa* Willd se incluyen tanto las variedades silvestres como las “domesticadas” (Abugoch James, 2009).

El género *Chenopodium* incluye alrededor de 250 especies distribuidas en todo el mundo (Bhargava *et al.*, 2003; Abugoch James, 2009; Vega Gálvez *et al.*, 2010). En la actualidad, tres de ellas están siendo cultivadas como plantas alimenticias: *C. pallidicaule* Aellen (Cañihua) y *C. quinoa* Willd en América del Sur y *C. nuttalliae* Safford (Huazontle) en México (Bazile *et al.*, 2014).

La distribución geográfica de la quinoa se extiende desde los 4°- 5° de Latitud Norte (Sur de Colombia), hasta los 40°- 43° de Latitud Sur en la Décima Región de Chile. Su distribución altitudinal varía desde el nivel del mar en Chile hasta los 3800-4000 m.s.n.m. en el altiplano que comparten Bolivia y Perú, existiendo así quinoas de costa, valles, valles interandinos, puna y altiplano (Galwey, 1993; Rojas *et al.*, 2010).

La gran variabilidad genética explica la capacidad de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, pudiendo tolerar condiciones de humedad relativa del 40% al 88%, una amplia gama de altitudes y temperaturas de -8°C a 38°C (Tapia & Frías, 2007; Bazile *et al.*, 2014).

Las colecciones de germoplasma están dispersas en el mundo, las más grandes corresponden a los países andinos (Bolivia, Perú, Argentina, Ecuador, Chile y Colombia) y

se conservan recursos genéticos en bancos de semillas *ex situ* en más de 20 países (Padrón Pereyra *et al.*, 2014).

La época de siembra está influenciada por la presencia de lluvias, por lo tanto varía entre países y regiones. En el Área Andina se siembra tradicionalmente el 30 de agosto y como las lluvias son variables, se puede sembrar a partir de septiembre hasta principios de noviembre. La germinación de la quinoa se inicia muy rápidamente (a las 8 h) si el suelo tiene suficiente humedad (Tapia & Frías, 2007).

La cosecha se realiza una vez que las plantas alcanzan la madurez fisiológica, reconocible porque las hojas dan una coloración amarilla característica a la planta y el grano ofrece resistencia al ser presionado con las uñas (Tapia & Frías, 2007). Para llegar a esta fase transcurren de 5 a 8 meses, según el ciclo vegetativo de las variedades (Hunziker, 1952; Tapia & Frías, 2007).

La planta de quinoa (Figura 1.1) es erguida, alcanza alturas desde 1 a 2 m, la raíz es pivotante con múltiples ramificaciones y de profundidad variable. El tallo es cilíndrico y a la madurez se vuelve anguloso. Las hojas son de carácter polimorfo en una sola planta. La inflorescencia de la quinoa es racimosa y por la disposición de las flores se la denomina panoja (Figura 1.2), estas pueden ser laxas o compactas. Esta característica junto a la longitud de la panoja, están estrechamente relacionadas con el rendimiento del cultivo (Alandia Borda *et al.*, 1979; Tapia & Frías, 2007).



Figura 1.1. Plantas modelo de quinoa.

(Jacobsen & Risi, on line; <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap3.htm>; Fecha de consulta: 09 de mayo de 2016)



Figura 1.2. Panojas de quinoa

(On line; <http://agrobayer.com/porta/quinua>; Fecha de consulta: 09 de mayo de 2016)

El cultivo y consumo de quinoa ha ido en franco aumento por diversas razones. La posibilidad de contar con un cultivo de destacable valor nutricional que admite su producción en suelos y ambientes diversos gracias a su amplia biodiversidad y que además es versátil desde el punto de vista culinario, hacen de este, un recurso útil y valioso para contribuir a la seguridad alimentaria mundial (Bazile *et al.*, 2014). Sumado a esto, tiene un gran potencial económico, pues no solo pueden ser aprovechados sus granos, sino que toda la planta puede ser utilizada en la obtención de subproductos (Montoya Restrepo *et al.*, 2005).

1.1.2. Antecedentes históricos y situación actual.

La quinoa es originaria de América y se cultivaba desde hace 5.000 años en las áreas andinas. A la llegada de los españoles, su cultivo estaba ampliamente desarrollado en el territorio Inca y fuera de él, teniendo una amplia distribución geográfica, que abarcó en Sudamérica, desde Nariño en Colombia hasta Tucumán en la Argentina y las Islas de Chiloé en Chile. También fue cultivada por las culturas precolombinas, Aztecas y Mayas en los valles de México en donde era denominada Huauzontle (Mujica *et al.*, 2001).

Por los relatos de los primeros cronistas de la Conquista de América se sabe que la quinoa, las papas y el maíz constituyeron el trinomio base de la alimentación indígena de este continente (Hunziker, 1952). Una de las razones del uso extendido de quinoa por los antiguos pobladores andinos, es su valor nutritivo. En la dieta de estos grupos fue el reemplazo prioritario o a veces exclusivo de las proteínas animales, ya que el consumo de leche, carnes y huevo no fue tradicional en esas poblaciones (Alandia Borda *et al.*, 1979).

El nombre de la quinoa en las lenguas quechua y aymara significa “Grano madre” (Bazile *et al.*, 2014). A raíz de su alta estima alimenticia y medicinal formaba parte de los sacrificios que se ofrecían a los dioses (Rodríguez Cuenca, 2006).

Del choque de culturas producido por la Conquista de América, la peninsular resultó ganadora y se ocasionaron cambios negativos para la agricultura andina. Los cultivos se vieron desplazados física y genéticamente de sus ambientes de producción, debido a múltiples factores y acciones que los marginaban del nuevo sistema alimentario colonial (Fano & Benavides, 1992).

Si bien se aumentó la variabilidad genética por la introducción de especies nuevas, como la caña de azúcar, el arroz, trigo, cebada y avena, el policultivo andino se vio reducido por el reemplazo de ciertas especies por otras importadas, como el frijol y el tarwi por las habas y las arvejas y la quinoa y la kiwicha por el trigo y la cebada (Fano & Benavides, 1992).

A diferencia de otros cultivos andinos la quinoa no alcanzó importancia mundial luego de la conquista española y su cultivo quedó confinada a las zonas altas de la región andina (Perú, Bolivia y Ecuador), disminuyendo drásticamente el área cultivada (Galwey, 1993). A partir de 1975 hubo un resurgimiento en el interés por su cultivo (Galwey, 1993). En un estudio realizado en 1975 por la Academia de Ciencias de Estados Unidos, la quinoa, fue calificada como uno de los mejores alimentos de origen vegetal para el consumo humano y ha sido considerada por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) como un potencial cultivo para el Sistema de Apoyo a la Vida Ecológica (Controlled Ecological Life Support (CELSS)). El concepto CELSS incluye a plantas para eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera y generar alimentos, oxígeno y agua para la tripulación de misiones espaciales a largo plazo (Schlick & Bubenheim, 1996).

Esfuerzos prolongados de investigación y mejoramiento en países como Bolivia y Perú, y de acciones de promoción en EEUU, Europa y Japón (más notables a partir de la década del 90) condujeron a un aumento importante de la demanda internacional y de la producción comercial de este cultivo (Bazile *et al.*, 2014).

En Argentina también se observó un incremento en el interés por este cultivo en base a dos componentes: comercial, por su rentabilidad en el contexto actual y de rescate del patrimonio cultural de los pueblos del Noroeste Argentino (NOA), que implica la recuperación del cultivo en algunas comunidades, en parte ligada a la demanda gastronómica del turismo (Bazile *et al.*, 2014).

En los países andinos sigue siendo un alimento básico mientras que en América del Norte y en Europa es cada vez más apreciada por sus cualidades dietéticas y modo de cultivo ecológico. Desde 1980, un nuevo mercado fue desarrollado para el grano en el sector de alimentos saludables en América del Norte (Galwey, 1993).

El crecimiento ha sido tal que, en el año 2011, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró al 2013, el “Año Internacional de la Quinoa” (AIQ), de esta manera se reconoció el rol que puede jugar esta planta en la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2013). En el AIQ, Google cedió más de 28 millones de accesos para "recetas de quinoa". Esta es otra evidencia del interés creciente que existe por estos granos (Taylor *et al.*, 2014).

A nivel nacional la harina de quinoa forma parte del Código Alimentario Argentino (CAA) desde hace ya varios años, sin embargo, la denominación legal de los granos de quinoa no había sido incorporada sino hasta el año 2014 por la Administración Nacional de Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) (Código Alimentario Argentino).

1.1.3. Fruto de Quinoa (FQ) y Semilla de Quinoa (SQ).

El FQ es un aquenio, es decir, un tipo de fruto pequeño, seco, indehiscente y monospermo, tiene forma cilíndrico-lenticular, levemente ensanchado hacia el centro. En la zona ventral del aquenio se observa una cicatriz que es la inserción del fruto en el receptáculo floral, está constituido por el perigonio que envuelve completamente a la semilla y es de coloración variable. El color de los frutos está determinado por el color que presenten el pericarpio y el episperma, existen quinoas de color crema, plomo, amarillo, rosado, rojo y morado. El diámetro que puede ir desde 1,5 a 4 mm (Lorenz & Collins, 1990; Gallardo *et al.*, 1997; Repo Carrasco *et al.*, 2007; Bazile *et al.*, 2014). En el banco de germoplasma de la Estación Experimental Patacamaya, Bolivia, se han caracterizado 66 colores de grano y se conservan 4 formas (Figura 1.3) (Bazile *et al.*, 2014).

El peso de los granos depende del tamaño, la variedad y el contenido de humedad. Varriano Martson & De Francisco (1984) publicaron que 350 semillas tienen un peso promedio de 1 g, Vilche *et al.* (2003) observaron que incluso con humedades de hasta el 15%, el peso de 1000 granos no alcanzaba los 3 g. Sin embargo, Chauhan *et al.* (1992) publicaron que el peso de mil granos fue de 28 g.

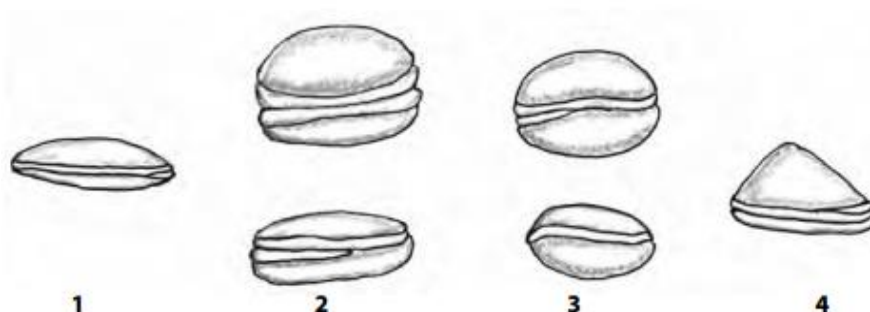
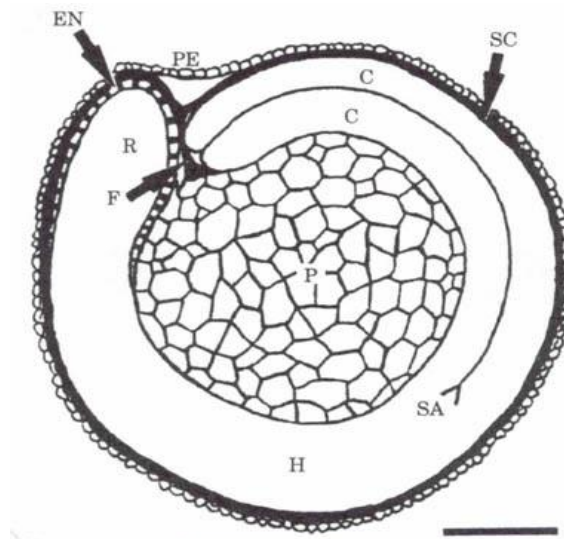


Figura 1.3. Formas de grano de quinoa: 1) lenticular; 2) cilíndrica; 3) elipsoidal y, 4) cónica, respectivamente (Bazile *et al.*, 2014).

El perigonio se desprende con facilidad a la madurez, aunque en algunos casos puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la selección (Gallardo, *et al.*, 1997). La semilla constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal (Figura 1.4), presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión y perisperma. La episperma, está constituida por cuatro capas: la más externa es de superficie rugosa, quebradiza y se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina que le da el sabor amargo al grano (Mujica, *et al.*, 2001).



Figura 1.4. Vista ventral del Fruto de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) al microscopio electrónico de barrido (Gallardo *et al.*, 1997).



PE: Pericarpio, SC: Cubierta de la semilla, EN: Endospermo; C: Cotiledones, H: Hipocotíleo; SA: Ápice del Meristemo; R: Radícula, P: Perisperma; F: Funiculo.

Figura 1.5. Sección longitudinal media del Fruto de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) (Prego, Maldonado & Otegui, 1998, On line, <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap1.htm>; Fecha de Consulta: 23 de marzo de 2016).

El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula, este envuelve al perisperma como un anillo, es de color amarillento y ocupa el 34 % de toda la semilla (Gallardo, *et al.*, 1997). En el embrión se encuentra la mayor cantidad de proteína entre el 35-40 %, mientras que en el perisperma la cantidad de proteínas presentes se encuentra entre 6,3 al 8,3 % de la proteína total del grano. Se desprende con facilidad al momento de frotar con demasiada fuerza o aplicar intensos mecanismos abrasivos. El perisperma es el principal tejido de almacenamiento y está constituido mayormente por gránulos de almidón, es de color blanquecino y representa aproximadamente el 60% de la semilla. Sus células son grandes de mayor tamaño que las del endosperma, de forma poligonal con paredes delgadas, rectas y con grandes agregados de almidón (Figura 1.6). Estos agregados están compuestos por cientos de miles de gránulos de almidón individuales, en la mayoría de los casos de forma hexagonal (Mujica, *et al.*, 2001; Gallardo, *et al.*, 1997).

Martini & Storani (2010) realizaron tinciones en SQ para realizar un reconocimiento cualitativo de la localización de las macromoléculas constituyentes (Figura 1.7).

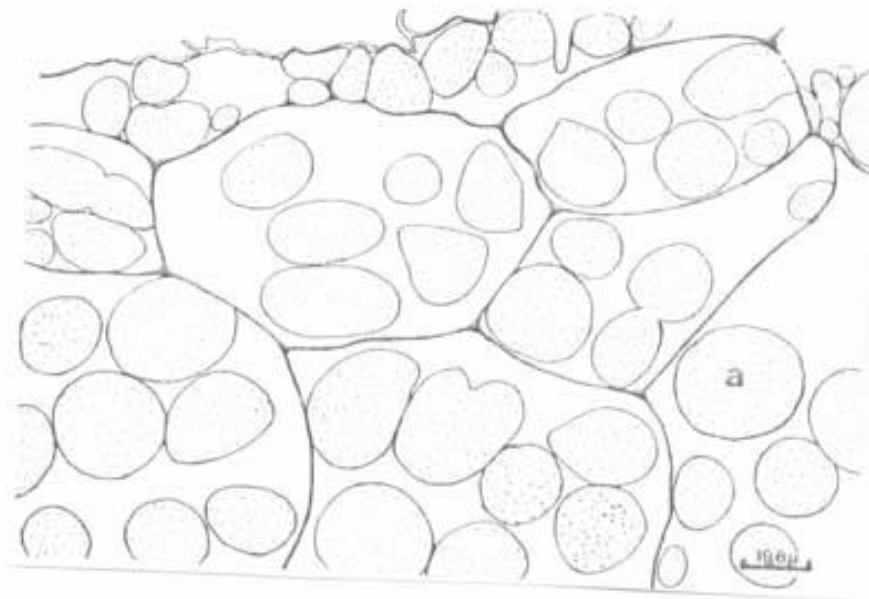
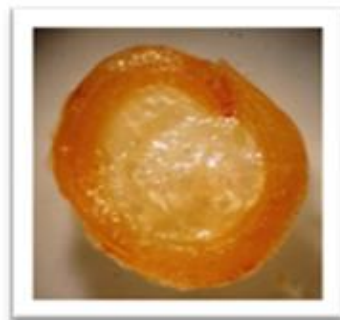
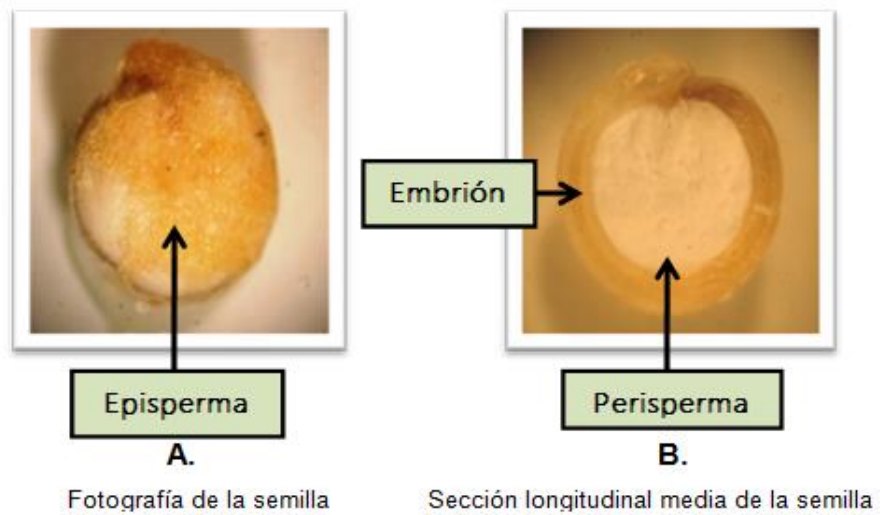


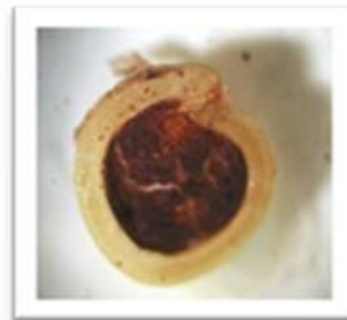
Figura 1.6. Células del perisperma con los gránulos de almidón de quinoa (Mujica *et al.*, 2001)

La Figura 1.7. C muestra que las proteínas se localizan en su gran mayoría en el embrión, al igual que los lípidos (Figura 1.7.E). La coloración que se ve en el perisperma (Figura 1.7.E) es debida al propio color del colorante, el Sudán IV colorea por migración hacia la fracción lipídica evidenciando la presencia de lípidos por mayor intensidad del color desarrollado. En la Figura 1.7.D. se observa que el almidón se encuentra en su totalidad en el perisperma de la semilla. Por último, en la Figura 1.7.F. se puede observar una mayor

presencia de celulosa en el perisperma, aunque también se observa algo en el embrión (Martini & Storani, 2010).



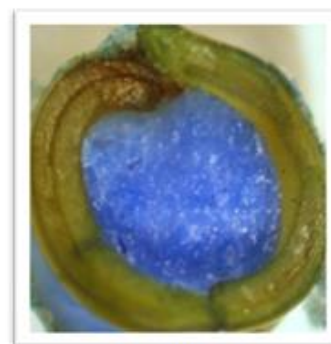
C. Proteínas
Tinción con Ácido Nítrico



D. Almidón
Tinción con Lugol



E. Lípidos
Tinción con Sudán IV



F. Celulosa
Tinción con reactivo de Schweitzer

Figura 1.7. A) Semilla; B) Sección longitudinal media de la semilla, perisperma y embrión; C) Proteínas; D) Almidón; E) Lípidos y F) Celulosa (Martini & Storani, 2010).

1.1.4. Producción mundial de quinoa.

Actualmente la quinoa se cultiva en Bolivia, Ecuador, Perú, Chile y Argentina (Lezcano, 2013). La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) informó que Perú y Bolivia son los principales países productores y exportadores de quinoa. En 2012, Bolivia concentró casi el 60% del mercado, tanto en volumen como en valor y Perú más del 20% (Lezcano, 2013). Además de los países mencionados, existen otros que están interesados en este cultivo, como es el caso de Colombia y Estados Unidos (Bergesse & Calandri, 2015). Los registros de la FAO no incorporan aún a Argentina como país productor debido a que su cultivo es incipiente y en muchos casos informal o de subsistencia.

La producción mundial para el año 2011 superó las 80 mil toneladas con más de 100 mil hectáreas cultivadas.

Tabla 1.1. Producción mundial de quinoa, período 2003-2012.

Año	Producción mundial de quinoa (Ton)			Total
	Bolivia	Ecuador	Perú	
2003	24.936	519	30.085	55.540
2004	24.688	641	26.997	52.326
2005	25.201	652	32.590	58.443
2006	26.873	660	30.429	57.962
2007	26.601	690	31.824	59.115
2008	27.169	741	29.867	57.777
2009	34.156	800	39.397	74.353
2010	36.106	897	41.079	78.082
2011	38.257	816	41.182	80.255
2012	37.500	800	44.210	82.510

Fuente: Dir. Agroalimentos con datos base FAOstat en Lezcano, 2013.

Los principales consumidores a nivel mundial son Perú, Bolivia y Ecuador. Bolivia tiene el consumo *per cápita* más elevado del mundo, siendo este de 5 kilos anuales. En todos los casos, el consumo está representado por el autoconsumo de las familias campesinas. A diferencia de ellos, los consumidores estadounidenses y europeos, el consumo está representado por alimentos funcionales o cocina *gourmet* (Bergesse & Calandri, 2015).

1.1.5. Producción de quinoa en Argentina.

En nuestro país, el área de cultivo actual más importante corresponde a la región noroeste (NOA), sobre una variedad de ambientes muy diversos y comprendidos entre los 1100 a los 3800 msnm (Bazile *et al.*, 2014; Pro Ecuador, 2015). Allí se cultiva en pequeñas parcelas como cultivo único o intercalado con maíz o papa (Bazile *et al.*, 2014). La mayoría

de los productores de quinoa del NOA son pequeños o medianos agricultores que tradicionalmente usan pocos insumos en su producción, aunque recientemente agricultores de la raigambre sojera y vitivinicultora están incorporando el cultivo de quinoa a modelos de explotación agroindustrial (Bazile *et al.*, 2014). La oferta de maquinarias para el cultivo de la quinoa en Argentina es nula para las distintas etapas, limitando su desarrollo y expansión como alternativa productiva (Golsberg *et al.*, 2010).

Se estima para esta región una superficie cultivada total de 151 ha, donde se destacan las provincias de Catamarca (74 ha), Salta (47 ha) y Jujuy (25 ha) con rendimientos promedio de 1.25 t/ha (Bazile *et al.*, 2014). En oposición a este autor, la Dirección General de Agricultura de la Secretaría de Asuntos Agrarios de Salta, ubica a esa provincia como la principal productora de granos de quinoa a nivel nacional según su estimación de las hectáreas sembradas allí, en la campaña 2012/13, unas 120 ha, y los rendimientos obtenidos en campañas anteriores, que habrían superado los 2.000 kilos por ha (Lezcano, 2013).

En las provincias de Buenos Aires y La Pampa, en la zona centro-sur de Argentina, se destinan al menos 26 ha a la producción de quinoa con rindes promedio de 1.6 t/ha (Bazile *et al.*, 2014). También en Tucumán y otras provincias del NOA se están realizando ensayos para el cultivo de quinoa y amaranto (Lezcano, 2013).

La producción de quinoa en Argentina para el período 2009-2011 se estimó entre 97 a 150 t y representaría el 0,2 % de la producción mundial. Tales estimaciones permitían inferir un crecimiento anual promedio del 8 % con un pico de 30 % para el 2009; sobre esa base la producción nacional se proyectó en 886 t para el año 2013 (FAO, 2002-11). Sin embargo, durante este año los altos precios internacionales (~3200 U\$S/t), (Bazile *et al.*, 2014) sumado a las virtudes agroindustriales del grano han estimulado a productores del NOA hacia un salto productivo sin precedentes. Sin embargo, la demanda actual de quinoa con valor agregado, por parte de empresas del rubro golosinas y gastronómicas, especialmente aquellas dedicadas a la alta cocina, es abrumadoramente superior a la producción actual y promete un incremento constante difícil de satisfacer en el corto plazo (Bazile *et al.*, 2014). Datos publicados por el Ministerio de Comercio Exterior de Ecuador, informan que en Argentina son 1800 las Ha cultivadas (ProEcuador, 2015).

1.1.6. Destino de la quinoa de producción nacional.

1.1.6.1. Mercado interno.

El cultivo de la quinoa se ha mantenido a muy pequeña escala en algunas comunidades andinas del NOA, destinado principalmente al auto consumo familiar (Bazile *et al.*, 2014; Golsberg, *et al.*, 2010; ProEcuador, 2015). Con respecto a la comercialización, la

quinoa que se vende en los mercados locales proviene de la importación o del contrabando hormiga desde Bolivia y sin identificación varietal. En términos generales el sistema comercial es informal, y se vende muchas veces como grano, sin generación de valor agregado (Golsberg *et al.*, 2010; Bazile *et al.*, 2014). La distribución de los productos derivados de la quinoa se realiza mayoritariamente a través de comercios minoristas conocidos como “dietéticas”, en ferias regionales y en hipermercados (Lezcano, 2013).

Sin embargo, en Cusi-Cusi (Jujuy) la producción local emprendió la implementación de una planta industrializadora del grano y avanzó en un proceso de agregado de valor elaborando tres productos: quinoa inflada, aplastada e incorporada en golosinas. En Yavi (Jujuy) son destacables los esfuerzos de producción por parte de los agricultores y ya se encuentran en instancias previas a la inscripción como semilleristas locales. Por otro lado, el gobierno de la provincia de Catamarca impulsa un proyecto productivo con agricultores del departamento de Tinogasta que incluye una meta de industrialización para producción de harina de quinoa destinada a la elaboración de fideos y leche enriquecida con quinoa, hierro, zinc y vitamina C, con lo cual se atenderá la necesidad alimentaria de personas comprendidas en un rango etario de 4 a 14 años (Bazile *et al.*, 2014). En Salta, productores de Seclantás y Luracatao se están orientando a la obtención de variedades con utilización de germoplasma nativo (Bazile *et al.*, 2014).

1.1.6.2. Exportaciones Argentinas de quinoa y productos derivados.

A lo largo del período 2007 a 2013 las exportaciones de quinoa y sus productos derivados han sido escasas y variables. El principal destino de las exportaciones de “quinoa no para siembra”, en 2012, fueron los Países Bajos, tanto en volumen como en valor, con una participación mayor al 75% en ambos casos. Estados Unidos y Brasil fueron los otros dos únicos destinos de las producciones Argentinas de este rubro. La tendencia fue igual en el 2013. En 2012 y hasta 2013, los únicos destinos de los envíos al exterior de “harina de quinoa” fueron los mismos países (Lezcano, 2013).

1.1.7. Valor nutricional

Los principales alimentos andinos, han sido clasificados para un mejor análisis nutricional como (Ayala, 2004):

- ✓ Fuente de energía proveniente de carbohidratos: Tubérculos y raíces;
- ✓ Fuente de proteínas, energía (proveniente de grasas) y minerales: Tarwi;
- ✓ Fuente de minerales: maca;

- ✓ Fuente de vitaminas y minerales: frutales andinos y;
- ✓ Fuente de proteínas, minerales y energía (carbohidratos): quinoa, cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y amaranto o kiwicha (*Amaranthus caudatus*).

Tabla 1.2. Composición nutricional de los granos de quinoa (g%)

Componentes	Rango	Promedio
<i>Humedad</i>	6,80-20,70	12,65
<i>Proteína</i>	7,47-22,08	13,81
<i>Grasa</i>	1,80-9,30	5,01
<i>Cenizas</i>	2,22-9,80	3,36
<i>Hidratos de carbono</i>	38,72-71,30	59,74
<i>Celulosa</i>	1,50-12,20	4,38
<i>Fibra</i>	1,10-16,30	4,14

Fuente: Alandia Borda et al., 1979; Koziol, 1992.

Existe una gran variación en la composición química de estos granos, que depende de su variedad genética, la edad de maduración de la planta, la localización del cultivo y la fertilidad del suelo (Koziol, 1992). Tal como lo muestra la Tabla 1.2, los rangos establecidos para macronutrientes son amplios, lo que denota una gran variabilidad.

La Tabla 1.3 pone de manifiesto la similitud en la composición química entre la quinoa y la kiwicha (Amaranto) y la superioridad en proteínas, grasa, fibra y cenizas de la Kañiwua respecto de las otras dos.

En general, el contenido de promedio de proteína en la quinoa (13,8-14,6 g%) (Tabla 1.2) es mayor que en cereales como trigo, cebada, avena, arroz, maíz, sorgo y centeno (Tabla 1.3).

El contenido de lípidos de la quinoa (5–6 g%) es superior al de trigo, cebada, sorgo, arroz y centeno, similar al de avena y maíz (Tabla 1.3) e inferior a soja (18,9%) (Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012).

Por otro lado, los aportes de fibra cruda son superiores a los de trigo, maíz, sorgo y centeno, pero significativamente inferiores a los de avena y arroz (Tabla 1.3).

La quinoa presenta menor contenido de proteínas que las semillas de leguminosas tales como frijol (*Phaseolus vulgaris*) (28,0%), lupinos (*Lupinus sp.*) (39%) o soja (*Glycine max*) (36,1%) (Koziol, 1992, Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012).

Tabla 1.3. Comparación de la composición química entre cereales y granos andinos (g/100 g de materia seca).

	Proteínas	Grasas	Fibra Cruda	Cenizas	Carbohidratos
<i>Cereales</i>					
<i>Trigo</i>	10,5	2,6	2,5	1,8	78,6
<i>Cebada</i>	11,8	1,8	5,3	3,1	78,1
<i>Avena</i>	11,6	5,2	10,4	2,9	69,8
<i>Arroz</i>	9,1	2,2	10,2	7,2	71,2
<i>Maíz</i>	11,1	4,9	2,1	1,7	80,2
<i>Sorgo</i>	12,4	3,6	2,7	1,7	79,7
<i>Centeno</i>	13,4	1,8	2,6	2,1	80,1
<i>Granos Andinos</i>					
<i>Quinoa</i>	14,6	6	4	2,9	72,6
<i>Kañiwua</i>	18,8	7,6	6,1	4,1	63,4
<i>Kiwicha</i>	14,5	6,4	5	2,6	71,5

Fuente: Repo Carrasco et al., 2003.

Tal como se presenta en las Tablas 1.2 y 1.3, la quinoa presenta una composición química promedio similar a la de los cereales. La composición general de estos los caracteriza por ser alimentos fuente de energía, principalmente proveniente de hidratos de carbono, además, aportan cantidades importantes de proteínas, así como una amplia variedad de micronutrientes; en particular, ciertas vitaminas del complejo B, vitamina E y minerales. Además, también suministra cantidades significativas de fibra dietética (Henry & Chapman, 2002). A continuación, se realiza una descripción detallada de los macro y micronutrientes quinoa.

1.1.8. Hidratos de carbono en quinoa.

1.1.8.1. Almidón.

El contenido de hidratos de carbono de los granos de quinoa varía del 67% al 74%, siendo el almidón el principal representante (52 a 65%) (Ahamed *et al.*, 1998; Galwey, 1993; Jancurová *et al.*, 2009; Ruales & Nair, 1994; Koziol, 1992). El almidón de quinoa se caracteriza por su pequeño tamaño, en general en el rango de 0,4 a 3,2 μm (Koziol, 1992).

Un estudio realizado en 27 genotipos de quinoa informó que 20 de ellos presentaron gránulos de tamaño menor a 10 μm , 3 variedades tuvieron gránulos entre 20 y 30 μm , 2 variedades entre 31 y 40 μm y finalmente una mostró 50,5 μm en sus gránulos de almidón. En el mismo informe publican que no existe asociación entre el tamaño de los gránulos de almidón y el tamaño y peso hectolítrico de los granos (Mujica *et al.*, 2006).

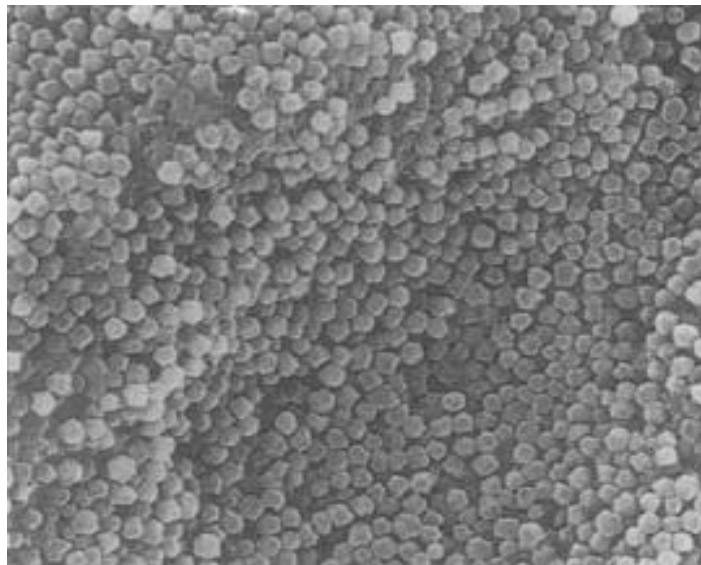
Como se describió anteriormente, los gránulos son de forma poligonal y pueden presentarse aislados o formando agregados que pueden ser esféricos u oblongos (Figura 1.8). Los agregados miden alrededor de 16 a 34 μm y consisten en hasta 20000 gránulos de almidón (Gallardo, *et al.*, 1997; Lorenz & Collins, 1990; Mujica, *et al.*, 2011; Ruales & Nair, 1994; Varriano Martson & De Francisco, 1984).

En general los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina (Badui Dergal, 2006). Se han reportado para el almidón de quinoa contenidos de amilosa que van desde el 3 al 27% (Ahamed, *et al.*, 1996; Inouchi *et al.*, 1999; Lindeboom *et al.*, 2005; Stefolani *et al.*, 2013; Tang *et al.*, 2002), aunque en general se reconoce a la quinoa por presentar un almidón de tipo ceroso, con un contenido de amilosa menor al 15% (Ahamed, *et al.*, 1996; Koziol, 1992; Lindeboom *et al.*, 2005; Stefolani, *et al.*, 2013; Tang, *et al.*, 2002).

La amilopectina de quinoa, contiene un gran número de cadenas cortas con un grado de polimerización (GP) del 8 al 12, y un pequeño número de cadenas más grandes con un GP 13 a 20, en comparación con almidones de otros cereales (Inouchi *et al.*, 1999).

La cristalinidad de los gránulos de almidón de quinoa puede ir desde 35 a 40% dependiendo del ecotipo y presenta el patrón cristalino de tipo A, típico de los cereales (Tang *et al.*, 2002; Stefolani *et al.*, 2013).

El almidón se encuentra muy ramificado, con una media ponderada (GP) de 70000 unidades de glucano. Tang *et al.* (2002) reportaron un GP de 6.700 unidades de glucano de la fracción de amilopectina del almidón de quinoa.



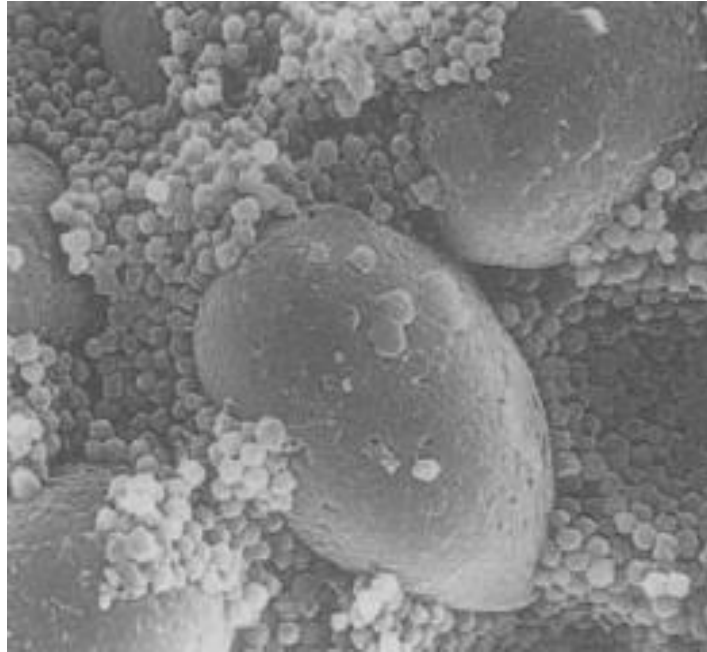


Figura 1.8. Microfotografía electrónica de barrido de almidón de quinoa
(Ruales & Nair, 1994)

1.1.8.2. Hidratos de carbono simples y oligosacáridos.

Los mono, di y oligosacáridos más comunes en la dieta del hombre son: glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa, lactosa, maltosa, rafinosa y estaquiosa. El contenido promedio de azúcares simples en quinoa es 2-3% (Abugoch James, 2009; Ahamed *et al.*, 1998).

El contenido de azúcares en quinoa expresado en g cada 100 g de harina es el siguiente: sacarosa 1,85 a 2,90, glucosa 0,1-2,93, fructosa 0,20-0,30, maltosa 0,10-1,40 y xilosa 0,12 (Dini *et al.*, 2005; Repo Carrasco *et al.*, 2007; Miranda *et al.*, 2010; Ogungbenle, 2003).

1.1.8.3. Polisacáridos no amiláceos. Generalidades.

La American Association of Cereal Chemist (2001) define: “la fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos (almidón resistente y polisacáridos no almidón), oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta (Escudero Álvarez & Gonzáles Sánchez, 2006).

Los polisacáridos no almidón son todos los polímeros de carbohidratos que contienen al menos veinte residuos de monosacáridos y que llegan al colon para ser fermentados total

o parcialmente y producir los efectos beneficiosos de la fibra dietética (Escudero Álvarez & Gonzales Sánchez, 2006).

Es probablemente la fermentabilidad, la propiedad más importante de un gran número de fibras, ya que de ella derivan multitud de efectos tanto locales como sistémicos. La fermentabilidad está bastante relacionada con la solubilidad de cada fibra (Escudero Álvarez & Gonzáles Sánchez, 2006). Las fibras solubles en contacto con el agua originan soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico (Escudero Álvarez & Gonzales Sánchez, 2006).

Las fibras insolubles o poco solubles forman mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Por otra parte, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa colónica (Escudero Álvarez & Gonzáles Sánchez, 2006).

Todos los tipos de fibra, a excepción de la lignina, pueden ser fermentadas por las bacterias intestinales, aunque en general las solubles lo son en mayor cantidad que las insolubles. La celulosa tiene una capacidad de fermentación entre el 20 y el 80%; la hemicelulosa del 60 al 90%; la fibra guar, el almidón resistente (AR) y los fructooligosacáridos (FOS) tienen una capacidad del 100%. El salvado de trigo sólo el 50% (Escudero Álvarez & Gonzáles Sánchez, 2006).

Tabla 1.4. Componentes de la fibra dietética en quinoa.

g%	Quinoa ¹
<i>Fibra soluble</i>	1,60 ² -3,2-5 ¹
<i>Fibra insoluble</i>	6,1 ¹ -14,39 ²
<i>Fibra dietética total</i>	10,4 ¹ -15,99 ²
<i>β-glucanos</i>	0,09 – 0,10
<i>Pentosanos</i>	1,8; 2,0 ¹ -3,4 ³
<i>AR</i>	0,20 – 0,33
<i>Celulosa</i>	3,0 – 4,4
<i>Lignina</i>	2,7 – 4,3

Fuente: ¹ Ligarda Samanez et al., 2012; ²Repo Carrasco Valencia & Serna, 2011; ³Ahamed et al., 1998; ⁴Ohuida, 2001.

1.1.9. Proteína de quinoa.

El valor nutricional de los pseudocereales esta principalmente relacionado a sus proteínas (Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012). El contenido de proteínas en quinoa puede ir desde 7,5-22%, con un promedio estimado en 13,8% (Alandia Borda et al., 1979).

En este como en otros pseudocereales, la mayor parte de las proteínas se localizan en el embrión (Mujica *et al.*, 2001).

Contrariamente a los cereales, tales como el trigo, las proteínas se componen principalmente de albúminas y globulinas (44-77%), y contiene poco o nada de prolaminas (0,5-7%) (Jancurová *et al.*, 2009) que son las principales proteínas de almacenamiento en los cereales y que resultan tóxicas en la enfermedad celíaca. (Álvarez Jubete *et al.*, 2009; Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012). Esas proteínas son las constituyentes del gluten, por lo tanto la quinoa es considerada como uno de los granos libres de el (Niewinsk, 2008). Tal característica la convierte en una alternativa saludable para las personas con enfermedad celíaca, cuyo único tratamiento hasta la fecha es la estricta eliminación del gluten de la dieta (Álvarez Jubete *et al.*, 2009).

En quinoa las dos clases principales de proteínas son la globulina 11S (chenopodina) y la albúmina 2S alta en cisteína, que representan el 37% y el 31-35% de la proteína total, respectivamente (Prakash & Pal, 1998; Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012). Además, presenta 0,8% de proteína soluble en alcohol (prolaminas), 11,5% de proteína soluble en medio alcalino (glutelinas) y 19,7 de proteínas insolubles (Prakash & Pal, 1998). La chenopodina tiene un peso molecular (PM) de alrededor 320,000. Comprende seis subunidades asociadas por puentes disulfuro y es relativamente baja en los aminoácidos metionina y cisteína en comparación con la composición de aminoácidos de la proteína total de la semilla. Al parecer, la albúmina 2S es la principal contribuyente de aminoácidos azufrados. Aunque se describe a esta proteína como "alta-cisteína", también se distingue por altos niveles de arginina e histidina (Brinegar, Sine & Nwokocha, 1996).

La composición de aminoácidos de la chenopodina es similar a la de otras globulinas 11S, con altos niveles de aspartato + asparagina, glutamato + glutamina, arginina, serina, leucina y glicina (Shewry, 2002).

El punto isoeléctrico de las proteínas de quinoa es a pH 6 aproximadamente y la máxima solubilidad se obtiene a pH 10 (Oshodi *et al.*, 1999).

Tabla 1.5. Comparación del contenido de aminoácidos entre quinoa y otros cereales.

Aminoácidos	Quinoa ¹	HIT ²	HRT ²	Cebada ²	Avena ²	Centeno ²	Arroz ²	Maíz ²
Ác. Aspártico	-	-	-	-	-	-	-	-
Ác. Glutámico	-	-	-	-	-	-	-	-
Serina	-	-	-	-	-	-	-	-
Glicina	-	-	-	-	-	-	-	-
Alanina	-	-	-	-	-	-	-	-
Prolina	-	-	-	-	-	-	-	-
Histidina	2,7	2,3	2,2	2,3	2,2	2,2	2,4	2,7
Isoleucina	3,4	3,7	3,6	3,7	3,9	3,5	3,8	3,6
Leucina	6,1	6,8	6,7	7	7,4	6,2	8,2	12,5
Lisina	5,6	2,8	2,2	3,5	4,2	3,4	3,7	2,7
Cisteína	1,7	2,3	2,5	2,3	1,6	1,9	1,6	1,6
Metionina	3,1	1,2	1,3	1,7	2,5	1,4	2,1	1,9
Fenilalanina	3,7	4,7	4,8	5,2	5,3	4,5	4,8	5
Tirosina	2,5	1,7	1,5	2,9	3,1	1,9	2,5	3,8
Treonina	3,4	2,9	2,6	3,6	3,3	3,3	3,4	3,7
Triptófano	1,1	-1,1	-1,1	1,9	ND	1,1	1,3	0,6
Valina	4,2	4,4	4,1	4,9	5,3	4,8	5,8	4,8

HIT: Harina Integral de Trigo, HRT: Harina Refinada de Trigo.

Fuente: ¹Repo Carrasco, 1991; ² Shewry, 2007.

1.1.9.1. Calidad proteica

Desde el punto de vista de la nutrición humana, interesa además del origen de la fuente proteica, la calidad biológica de la misma. En este sentido las proteínas pueden clasificarse como biológicamente completas o incompletas (Thompson *et al.*, 2008). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha

señalado que una proteína es biológicamente completa cuando contiene todos los aminoácidos esenciales en una cantidad igual o superior a la establecida para cada aminoácido en una proteína de referencia o patrón e incompleta cuando al menos uno de los aminoácidos esenciales se encuentra en una concentración inferior a la establecida para la proteína patrón, ya que esta situación limita la síntesis proteica no pudiendo ser utilizadas completamente por el organismo (Repo Carrasco *et al.*, 2007). Para que la síntesis de una determinada proteína se lleve a cabo, todos los aminoácidos esenciales deben estar disponibles en las células en las concentraciones necesarias (Thompson *et al.*, 2008).

El patrón de aminoácidos recomendado para evaluar la calidad de las proteínas para todas las edades (excepto los menores de un año) se basa en los requerimientos de aminoácidos de los niños edad preescolar. La relación del limitante que se encuentra en menor proporción con respecto al mismo aminoácido en la proteína patrón, se denomina cómputo aminoacídico (CA) (Tapia *et al.*, 2000).

Por lo tanto, la calidad de una proteína depende de su contenido en aminoácidos esenciales y condicionalmente esenciales, es decir, aquellos que se vuelven indispensables en determinadas situaciones (Kathleen Mahan & Escott-Stump, 2001). De los 20 aminoácidos que conforman las proteínas, el organismo sintetiza 9 a partir del adecuado suministro de nitrógeno, y los que no pueden ser sintetizados (aminoácidos esenciales) a la velocidad y cantidad requerida, son suministrados a través de ciertos alimentos que integran la dieta. Ellos son: histidina, leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, valina y triptófano, para los lactantes hay que considerar además histidina. Bajo algunas condiciones, un aminoácido no esencial puede convertirse en un aminoácido esencial. En ese caso, el aminoácido se llama aminoácido condicionalmente esencial (Kathleen Mahan & Escott-Stump, 2001; Thompson *et al.*, 2008).

El contenido de lisina en quinoa es dos veces más alta que en los cereales como el trigo o el maíz. Presenta, además, un adecuado perfil de aminoácidos para niños en edad preescolar ya que no muestra deficiencia de aminoácidos esenciales (Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012). Se destaca también por su aporte de histidina, isoleucina y aminoácidos aromáticos (fenilalanina y tirosina) y tiene contenidos similares de leucina y triptófano. Cuando es comparada con los requerimientos de aminoácidos de los niños en edad escolar y adultos, la quinoa puede suministrar más del 150 % de lo indicado para niños y el 200% en adultos (Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012). Ruales & Nair (1992) informaron que los primeros aminoácidos limitantes (AAL) eran los aminoácidos aromáticos (fenilalanina + tirosina) otorgando una puntuación química de 86 para la proteína de quinoa cruda y de 85 para la de quinoa lavada. La siguió treonina y luego lisina. En general, el contenido de aminoácidos esenciales en la quinoa es mayor que en

los cereales comunes (Ruales & Nair, 1992). Según otros autores, la proteína de quinoa proporciona 67% de la fenilalanina, 123% de isoleucina, 94% de leucina, 109% de lisina, 66% de metionina, 93% de treonina y 90% de triptófano y valina, todos respecto al patrón establecido por FAO. Por lo tanto, los AAL de las proteínas de quinoa serían: fenilalanina, leucina, metionina, treonina y triptófano. Tales déficits deberían suplirse en la alimentación con proteínas de otros alimentos que sean ricos en estos aminoácidos (Wahli, 1990).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la *Food and Drug Administration* (FDA) de Estados Unidos adoptaron como medida para valorar la calidad de una proteína el cómputo químico o *score* de aminoácidos corregido por la digestibilidad de la proteína en cuestión (*protein digestibility corrected amino acid score*) o PDCAAS (Ettinger, 2001). Los granos andinos presentan una digestibilidad menor que los alimentos de origen animal probablemente por su contenido de fibra. Se estima que la digestibilidad de los granos andinos es de aproximadamente 80% (Tapia *et al.*, 2000).

La digestibilidad verdadera (DV) de los granos de quinoa medida en animales de experimentación es de aproximadamente 92% (Ruales & Nair, 1992).

La relación de eficiencia de proteína (PER) evalúa la calidad de la proteína y mide la ganancia de peso corporal con relación a la cantidad de proteína consumida. La PER corregida de la quinoa sin tratar es de 1.36 a 1.86 (Ayala, 2004). En general, un PER por debajo de 1.5 aproximadamente describe una proteína de baja calidad o pobre; entre 1,5 y 2,0, una de calidad intermedia; y por encima de 2,0, una proteína de alta calidad (Friedman, 1996).

1.1.10. Lípidos y fracción insaponificable en quinoa.

El contenido de lípidos en los granos de quinoa puede variar desde 1,80 a 9,30 g% con un promedio establecido en 5% (Alandia Borda *et al.*, 1979). En general, el contenido de aceite es similar al maíz (4,9%) e inferior a la soja (20%). La cantidad relativamente alta de aceite, convierte a estos granos en una fuente potencial para la extracción de aceite (Koziol, 1992, 1993). Los aceites de origen vegetal se obtienen a partir de semillas o frutos oleaginosos por medios físicos como la extracción por solvente o mecánicos (presión). En todos ellos predominan los Ácidos Grasos Poliinsaturados (PUFA), especialmente el ácido linoleico (C18:2 ω -6). La excepción en este grupo la constituyen los aceites procedentes del coco y de la palma, donde predominan los Ácidos Grasos Saturados (AGS) (láurico, mirístico, palmítico) (Thompson *et al.*, 2008; Zambiasi *et al.*, 2007).

Respecto a la composición de los lípidos de la quinoa, se sabe que en el producto integral (granos enteros) los lípidos neutros son los componentes prioritarios, representando alrededor de los 50-56% del total, estos son seguidos en concentración por los lípidos polares y por último los Ácidos Grasos Libres (AGL). El contenido de lípidos

polares es aproximadamente de un 25% y los AGL se encuentran en concentraciones alrededor del 19%. De los lípidos neutros, el 74% está representado por triglicéridos, 13% por 1,2-diglicéridos, 7% por 1,3-diglicéridos y 3% por monoglicéridos. Los lípidos polares están constituidos por los fosfolípidos; el más abundante es la lisofosfatidiletanolamina y representa el 45% del total de esa fracción lipídica, seguido por la fosfatidiletanolamina (18%), fosfatidil colina (12%), fosfatidilinositol (10%) y otros fosfolípidos que se encuentran en proporciones menores al 5% (Przybylski *et al.*, 1994).

El aceite de quinoa presenta un perfil de ácidos grasos similar al del maíz y soja, con prevalencia de AGPI (Abugoch James, 2009; Jahaniaval *et al.*, 2000; Koziol, 1993; Wood, Lawson, Fairbanks, Robinson & Andersen, 1993). Estos Ácidos Grasos (AG) representan alrededor del 55-60% del total, mientras que los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y AGS se encuentran en cantidades que oscilan entre 25-33% para los primeros y entre 11-19% los segundos (Przybylski *et al.*, 1994; Ryan *et al.*, 2007; Wood *et al.*, 1993).

La quinoa es una fuente interesante de Ácidos Grasos Esenciales (AGE). El principal, por encontrarse en mayor proporción, es el ácido linoleico (C18:2 ω 6) y representa entre el 48-56% del total de los AG, esta cantidad es semejante a la encontrada en aceites de maíz, girasol y soja, aunque inferior al aceite de cártamo (70%; Akoh & Min, 2002). El otro AGE, el ácido α -linolénico se encuentra en cantidades que rondan el 7%. Este AG presente en un 8 y 10% en aceites de soja y canola y en más del 50% en el de linaza (Akoh & Min, 2002).

Los AGE son precursores de eicosanoides, por lo tanto, la síntesis en el cuerpo humano de los distintos eicosanoides depende de la cantidad de AGE disponibles y de las enzimas presentes en cada vía metabólica. Los eicosanoides se sintetizan a partir de ácidos grasos con 20 átomos de carbono (Thompson *et al.*, 2008). Tiene que existir un equilibrio entre los distintos eicosanoides para que los procesos de dilatación/contracción y coagulación de la sangre en los vasos sanguíneos se desarrollen con normalidad (Thompson *et al.*, 2008).

De los AGMI, el principal es el ácido oleico (C18:1 ω 9), este se encuentra en cantidades que oscilan entre 20-29%.

Dentro de los AGS prevalece el ácido palmítico (C16:0), representando alrededor del 10-12% (Álvarez Jubete *et al.*, 2009; Jahaniaval *et al.*, 2000; Przybylski *et al.*, 1994; Ruales & Nair, 1993; Ryan *et al.*, 2007; Vera *et al.*, 2014; Wood *et al.*, 1993). El ácido erúxico (C22:1) es un ácido graso que se ha relacionado con el desarrollo de enfermedades del miocardio o glándulas suprarrenales. El desarrollo de las patologías es proporcional a la ingesta de ácido erúxico a través de la dieta (Zambrano, 2012). En quinoa se han determinado contenidos de ácido erúxico menores al 2% (Tabla 1.6). La FDA, establece un

límite del 2% para aceites vegetales comestibles (Wood *et al.*, 1993). El CAA, es más flexible al establecer este límite y lo fija en 5% (Código Alimentario Argentino, Art. 525).

Tabla 1.6. Perfil de ácidos grasos de quinoa, maíz y soja.

Ácido graso		Quinoa ¹	Quinoa ²	Quinoa ³	Quinoa ⁴	Maíz ⁴	Soja ⁴
C12:0	Laúrico	0,1	-	-	-	-	-
C14:0	Mirístico	0,2	0,2		0,3	-	0,12
C16:0	Palmítico	9,6	8,3	9,2	11,4	11,6	12,7
C16:1	-	-	-	0,3	0,1	0,1	0,1
C18:0	Estearico	0,6	0,7	0,6	0,8	1,9	4
C18:1 ω 9	Oleico	21,1	20,8	29,5	25,6	27,8	21,7
C18:2 ω 6	Linoleico	56	54,3	48,1	52,8	56,5	53,9
C18:3 ω 3	Linolénico	6,7	8,2	8	7	1,65	7,23
C20:0	Eicosanoico	0,1	0,6	0,5	0,3	0,4	0,3
C20:1 ω 9	Gondólico	1,2	1,5	1,6	1	0,1	0,04
C20:2 ω 6	Eicosadienoico	0,3	0,2	-	-	-	-
C22:0	Behénico	0,7	1	0,7	0,24	0,1	0,1
C22:1 ω 9	Erúcico	1,3	1,9	1,4	0,5	0,1	-
C24:0	Lignocérico	0,3	0,4	-	-	-	0,1
C24:1	Nervonic	0,2	0,2	-	-	-	-

Fuente: ¹Przybylski *et al.*, 1994; ²Wood *et al.*, 1993; ³Ryan *et al.*, 2007; ⁴Jahaniaval *et al.*, 2000.

La relación Poliinsaturado/Saturado (P/S) en el aceite de tres cultivares de quinoa se estableció en 5,38, 5,48 y 5,23 (Wood *et al.*, 1993). Ruales & Nair (1993) informaron una relación P/S de 4,9.

Tal como se señaló, este aceite, al igual que otros aceites vegetales posee altas concentraciones de AGPI, esto los vuelve susceptibles a la oxidación lipídica por acción de lipooxigenasas. Estas enzimas se encuentran en la mayoría de los cereales y legumbres (Sanz *et al.*, 1992). A pesar de esto, la quinoa posee cantidades importantes de vitamina E que es un potente antioxidante natural, por lo que el aceite de quinoa es relativamente estable (Ryan *et al.*, 2007; Koziol, 1992; Koziol, 1993).

1.1.10.1. Fitoesteroles.

Los fitoesteroles, principalmente β -sitosterol, campesterol y estigmasterol son componentes naturales integrantes de las membranas celulares de las plantas y abundan en los aceites vegetales, nueces, semillas, y granos (Weihrach & Gardiner, 1978; Ryan *et al.*, 2007).

1.1.10.1.1. Efectos biológicos saludables.

Si bien se ha atribuido a los fitoesteroles tener un amplio espectro de efectos biológicos beneficiosos, su capacidad para reducir el colesterol ha sido ampliamente investigada. Los esteroides vegetales tienen la capacidad de inhibir la absorción intestinal de colesterol, esto contribuye a la reducción del colesterol total en plasma y de lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Ryan *et al.*, 2007).

Tabla 1.7. Contenido de β -sitosterol, campesterol, estigmasterol (mg/100 g) en quinoa, algunos cereales y legumbres.

Muestra	β -Sitosterol	Campesterol	Stigmasterol	Escualeno
<i>Quinoa</i>	63,7 \pm 4,0	15,6 \pm 8,7	3,2 \pm 0,1	58,4 \pm 0,69
<i>Cebada</i>	38,1 \pm 1,0	12,0 \pm 1,0	0,3 \pm 0,1	0,2 \pm 0,08
<i>Maíz</i>	34,1 \pm 1,1	9,1 \pm 0,5	0,4 \pm 0,0	1,6 \pm 0,60
<i>Arroz</i>	58,4 \pm 5,6	16,8 \pm 1,7	0,7 \pm 0,1	0,3 \pm 0,05
<i>Trigo sarraceno</i>	94,5 \pm 4,1	10,4 \pm 0,4	1,6 \pm 0,2	1,9 \pm 0,58
<i>Lino</i>	57,4 \pm 2,4	19,0 \pm 0,7	21,8 \pm 0,8	1,0 \pm 0,04
<i>Lentejas</i>	123,4 \pm 4,1	15,0 \pm 0,4	20,0 \pm 0,6	0,7 \pm 0,15
<i>Arvejas</i>	191,4 \pm 0,4	25,0 \pm 6,9	26,0 \pm 0,6	1.0 \pm 0.07

Fuente: Ryan *et al.*, 2007.

1.1.10.1.2. Comparación del contenido de fitoesteroles entre quinoa, cereales y legumbres.

Ryan *et al.* (2007) informaron que las legumbres tienen un perfil de fitoesteroles diferente y que en general los cereales tienen un menor contenido de fitoesteroles que las semillas y legumbres analizadas en su trabajo (Tabla 1.7). El principal fitoesterol encontrado en todos los casos fue él β -Sitosterol.

La quinoa presenta mayor contenido de β -Sitosterol que la cebada y el maíz, similar a arroz y lino, pero considerablemente inferior a trigo sarraceno, lenteja y arvejas. Con respecto al campesterol, no se observaron grandes diferencias a juzgar por la amplitud de las desviaciones estándar. Sin embargo, para el caso del stigmasterol se puede decir que la quinoa presenta contenidos superiores que cebada, maíz, arroz y trigo sarraceno e inferiores al de las legumbres estudiadas (Tabla 1.7).

El escualeno, precursor biosintético para todos los esteroides tanto en células vegetales como animales; se encuentra en concentraciones superiores en quinoa que en cereales y legumbres (Ryan *et al.*, 2007).

1.1.10.2. Vitamina E y Carotenoides

Vitamina E

El término vitamina E incluye un grupo de ocho compuestos estrechamente relacionados: cuatro tocoferoles (α -T, β -T, γ -T, y δ -T) y cuatro tocotrienoles (α -T3, β -T3, γ -T3, y δ -T3). Todos los compuestos derivan de una estructura básica llamada *tocol* (Figura 1.9). Los tocoferoles y los tocotrienoles se diferencian en la saturación de la cadena lateral, los primeros tienen una cadena saturada y los segundos una cadena insaturada con tres dobles enlaces (en las posiciones 3', 7', y 11') (Figura 1.9). Además, los tocoferoles y tocotrienoles se designan como α , β , γ , δ y en función del número y la posición del grupo metilo unido al anillo aromático (Álvarez Jubete *et al.*, 2009).

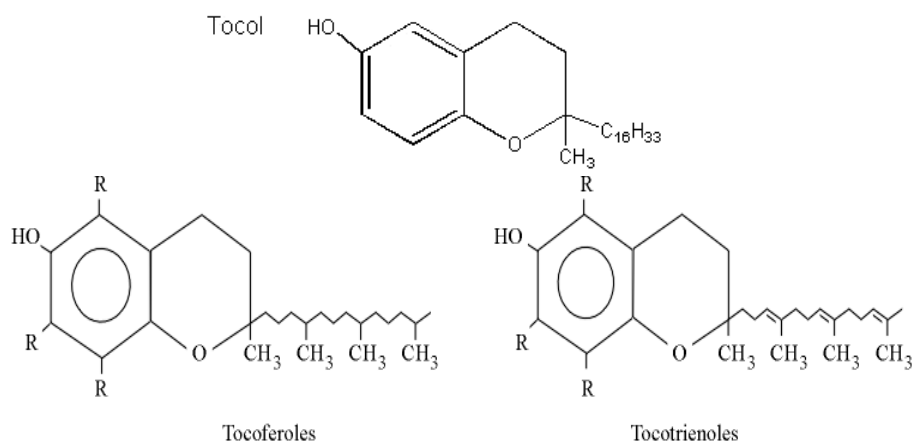


Figura 1.9. Estructura del tocol, tocoferoles y tocotrienoles.

El aceite de quinoa posee entre 690 a 754 ppm de α -tocoferol y de 760 a 930 ppm de γ -tocoferol en aceite crudo (sin refinar) (Koziol, 1992).

Ryan *et al.* (2007) informaron valores de α -Tocoferol de 2,1mg/100 g y de 3,1 mg/100 g para β y γ -Tocoferol juntos; Miranda *et al.* (2010) hallaron valores de vitamina E de 5,51mg/100g. En los dos trabajos mencionados el contenido de vitamina E supera notablemente a otros pseudocereales, cereales y semillas como mijo, maíz, cebada y trigo.

De Bruin (1964) reportó una concentración media de α -tocoferol para tres cultivares de quinoa de 52 ppm, que corresponde a una concentración de 754 ppm en el aceite. Otros análisis han demostrado que el aceite de quinoa puede llegar a contener entre 690 a 740 ppm de α -tocoferol y entre 790-930 ppm de γ -tocoferol. Durante el refinado, estas concentraciones disminuyen a 450 y 230 ppm, respectivamente (Koziol, 1992).

Carotenoides

Desde el punto de vista químico, los carotenoides son tetraterpenos constituidos por unidades múltiples de isopreno con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos. Existen dos tipos de carotenoides: los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales y las xantofilas y otros que si los tienen. Se han aislado y caracterizado más de 600 carotenoides, pero este número es menor en los alimentos (Rodríguez Amaya, 1999 en Carranco Jáuregui *et al.*, 2011).

1.1.10.2.1. Fuentes y localización de Vitamina E y de Carotenoides.

Vitamina E

La vitamina E en cereales y pseudocereales se encuentra principalmente en las fracciones de salvado y el germen al igual que el aceite. Por lo tanto, los aceites vegetales son fuente interesante de esta vitamina, al igual que el germen de trigo. También son producidos sintéticamente. Entre los aceites vegetales, se destacan por su aporte de tocoferoles aquellos que tienen concentraciones importantes de AGPI, como los aceites de soya, maíz, algodón y cártamo (Eitenmiller & Lee, 2004; Laguna & Claudio, 2007).

El contenido de vitamina E en los cereales está influenciado por factores genéticos, las condiciones ambientales durante el cultivo y la cosecha y el grado de madurez de las semillas (Eitenmiller & Lee, 2004).

A pesar de que hay alimentos que son fuente de esta vitamina, diversas cantidades se pierden diferentes etapas del procesamiento ya sea de los cereales o sus aceites (incluyendo la molienda, expandido, laminados, trituración, refinado, almacenamiento, etc.) (Laguna & Claudio, 2007).

1.1.11. Otras Vitaminas y Minerales.

Al igual que las vitaminas, los oligoelementos minerales son también considerados micronutrientes. Estos se encuentran en el organismo en cantidades menores a 0,005% del peso corporal (50 ppm). Son esenciales para la función celular y, por tanto, para la supervivencia. De ellos se requieren menos de 100 mg/día y están conformados por cromo, cobalto, cobre, flúor, yodo, hierro, manganeso, molibdeno, selenio y zinc (Laguna & Claudio, 2007). A los minerales esenciales mayores (macrominerales), el organismo los demanda en cantidades de 100 mg/día o más, estos son: calcio, cloruro, magnesio, fósforo, potasio, sodio y azufre.

La Tabla 1.8 muestra el contenido de minerales de algunos cereales y pseudocereales. Quinoa, kañiwa y kiwicha presentan mayor contenido de Ca, Mg, Fe y Cu que los cereales. El contenido de calcio publicado por Repo Carrasco *et al.* (2003) es similar

al de avena. Los resultados expresados en la tabla son coincidentes a las conclusiones abordadas por Ruales & Nair (1993) quienes publicaron que los minerales que se encuentran en mayor concentración en los frutos de quinoa son P, K y Mg. Además, destacan a la quinoa por el aporte de Ca, Fe, Cu y Zn.

Tabla 1.8. Minerales en cereales y pseudocereales
(mg/100 g de materia seca).

	Ca	Mg	Na	P	Fe	Cu	Zn
<i>Cereales</i>							
<i>Trigo</i>	48	152	4	387	4,6	0,6	3,3
<i>Cebada</i>	52	145	49	356	4,6	0,7	3,1
<i>Avena</i>	94	138	28	385	6,2	0,5	3
<i>Centeno</i>	49	138	10	428	4,4	0,7	2
<i>Arroz</i>	15	118	30	260	2,8	0,4	1,8
<i>Pseudocereales</i>							
<i>Quinoa</i>	94	270	11,5	140	17	3,7	4,8
<i>Quinoa¹</i>	148,7	250	12,2	384	13	5,1	4,4
<i>Kañiwa</i>	110	n.r	n.r	375	15	m.r	n.r
<i>Kiwicha</i>	236	244	31	453	7,5	1,21	3,7

Fuente: Repo Carrasco *et al.*, 2003; ¹Koziol, 1992.

Tal como se muestra en la Tabla 1.8. la composición mineral de la quinoa se asemeja a la de kañiwa en el contenido de Ca, P y Fe. La kiwicha presenta contenidos sustancialmente mayores de Ca que los otros pseudocereales y cereales (Koziol, 1992).

En los países en desarrollo, Fe, Zn y Ca son principalmente derivados de granos. Las legumbres, son buenas fuentes de estos minerales. Sin embargo, la biodisponibilidad de los minerales provenientes de fuentes vegetales es menor que la derivada de alimentos de origen animal. La presencia de ciertos compuestos (fibra dietética, fitatos, oxalatos, etc.) tienen efectos negativos sobre la absorción de minerales (Repo Carrasco *et al.*, 2010).

En quinoa se han encontrado menores valores de dializabilidad de Fe y Zn que en kiwicha y kañiwa, que podría explicarse por la presencia de saponinas y ácido fítico en las semillas. Los compuestos mencionados disminuyen la biodisponibilidad de estos minerales (Repo Carrasco *et al.*, 2012).

Generalmente, las reservas de nutrientes minerales en semillas maduras, tales como K, Mg, Fe y Zn suelen estar presentes en forma de fitatos.

El K y el Ca están localizados principalmente en las paredes celulares del pericarpio. Esto sugiere que se encuentran asociados a los grupos carboxilos de la pectina (Konishi *et al.*, 2004).

Tabla 1.9. Principales vitaminas en quinoa. Comparación con cereales.

Vitaminas	Ruales & Nair, 1993	Koziol, 1992			
	Quinoa	Quinoa	Trigo	Arroz	Cebada
Tiamina	0,4	0,38	0,55	0,47	0,49
Riboflavina	0,2	0,39	0,16	0,1	0,2
Niacina	-	1,06	5,88	5,98	5,44

Koziol (1992) reportó que la quinoa contiene mayores concentraciones de riboflavina (B2) y caroteno que el trigo, arroz y la cebada.

1.1.12. Factores Antinutricionales (FA).

Los FA son sustancias que afectan el valor nutricional de algunos alimentos, pues dificultan o inhiben la asimilación de los nutrientes que provienen de alimentos generalmente de origen vegetal. Desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada, no fibrosa y generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves (Elizalde *et al.*, 2009).

El FA cuantitativamente más importante de los granos de quinoa son las saponinas, por las cantidades en que normalmente se encuentran en los frutos. Sin embargo, la actividad antinutricional se reduce drásticamente luego de los procesos de desamargado ya que las cantidades remanentes luego de acondicionar los granos para el consumo (desamargado) no perjudican al hombre (Elizalde *et al.*, 2009). Estudios en ratas revelaron que los animales alimentados con dietas a base de quinoa sin lavar mostraron daños en el crecimiento y una reducción en la eficiencia de conversión de alimentos (Gee *et al.*, 1996). Las saponinas no se absorben en el intestino, afectando la absorción del hierro y el zinc (Elizalde *et al.*, 2009). Sin embargo, otro estudio reveló que no tienen efecto negativo sobre la solubilidad de hierro *in vitro* (Valencia *et al.*, 1999).

Las saponinas han sido consideradas por mucho tiempo como FA, por lo que muchas investigaciones se centraron en la manera más conveniente de removerlas de los granos; sin embargo, en los últimos años, el interés se ha centrado en los efectos beneficiosos de las saponinas sobre la salud humana, debido a la creciente evidencia de sus efectos sobre el descenso de colesterol en sangre y de ciertas propiedades contra el cáncer (GüçlüÜstündag & Mazza, 2007).

Otros antinutrientes presentes son el ácido fítico, los taninos y los inhibidores de tripsina (Abugoch James, 2009; Jancurová *et al.*, 2009).

La cantidad de fitatos presentes en las semillas de quinoa (0,7-1,2 g%) (Jancurová *et al.*, 2009; Ruales & Nair, 1993), es menor que en trigo (0,98-1,43 g%) y superior a la

encontrada en arroz pulido (0,10-0,14 g%). El contenido de ácido fítico puede ser reducido en condiciones de maceración en agua, germinación o fermentación. La germinación reduce la concentración de fitatos entre un 35 a 39% y la fermentación entre un 82 a un 98% (Valencia *et al.*, 1999).

Aparentemente, el ácido fítico no se localiza exclusivamente en las capas externas de los granos, por lo que la remoción de las saponinas deja concentraciones variables de este FA en las semillas (Ruales & Nair, 1993). Los fitatos pueden formar complejos con minerales (Ca, Fe, Zn, Mg y Cu), aminas y proteínas, dificultando la digestibilidad y absorción intestinal de los alimentos. La acción antinutricional de los taninos es similar a la de los fitatos mientras la acción de los inhibidores de tripsina en el tracto gastrointestinal consiste en la inhibición de la acción enzima responsable de la digestión proteica (Jancurová *et al.*, 2009). Ruales & Nair (1993) no detectaron taninos e inhibidores de proteasas en quinoa, sin embargo, Chauhan *et al.* (1992) informaron que el contenido de taninos en grano entero es de 0,53% y que el porcentaje de actividad de inhibidor de tripsina en el fruto es del 10%.

1.1.13. Saponinas. Generalidades y particularidades en quinoa.

Las saponinas (del latín sapo, "jabón") representan un amplio grupo de los glucósidos que se encuentran en las plantas cuya función natural es la defensa de la planta del medio externo. Son compuestos que contienen una o más cadenas de azúcar y una aglicona esteroide o triterpenoide (sapogenina) en su estructura (Sparg *et al.*, 2004).

Las saponinas esteroides se encuentran principalmente en monocotiledóneas y las saponinas triterpenoides predominan en las dicotiledóneas (Sparg *et al.*, 2004), como la quinoa. Por su estructura química son solubles en agua y capaces de formar una espuma estable cuando se encuentran en solución. Esta capacidad es causada por la combinación de la sapogenina hidrófoba y el azúcar hidrófilo. Las saponinas de la quinoa son capaces de formar espuma estable aún en concentraciones tan bajas como 0,1% (Repo Carrasco *et al.*, 2003).

La presencia de saponinas confiere sabor amargo a los granos, lo cual constituye uno de los principales limitantes en la expansión de su consumo (Wahli, 1990). El contenido de saponinas de la quinoa puede variar entre 0,1 y 5% (Repo Carrasco *et al.*, 2003). Las saponinas se concentran en las capas externas del grano (pericarpio) lo que facilita su eliminación por escarificado (método seco), por lavado con agua (método húmedo) o la combinación de ellos (Nieto & Soria, 1990; Repo Carrasco *et al.*, 2003; Tapia & Fries, 2007; Koziol, 1991). La elección de uno u otro método depende de las regiones, la disponibilidad de agua y la infraestructura disponible.

La principal saponina de quinoa es el ácido oleanólico. Se ha encontrado además ácido fitolacagénico, ácido serjánico y hederagenina (Repo Carrasco *et al.*, (2003); Zhu *et al.* (2002) en Gianna, 2013). Los carbohidratos principales de las saponinas de quinoa son glucosa, arabinosa y galactosa. Además, 20 saponinas triterpénicas se han aislado de diferentes partes de *Chenopodium quinoa* (flores, frutos, cubiertas de las semillas y las semillas) (Kuljanabthagavad *et al.* (2008) y Zhu *et al.* (2002) en Gianna, 2013). Los tipos de saponinas presentes en quinoa difieren en proporciones según la variedad (Ruales & Nair, 1993). Estos autores han identificado en granos de quinoa y salvado, dos de las principales saponinas, las saponinas tipo A y tipo B (Figura 1.10). La cantidad de saponina tipo A es del 0,7% y la tipo B 0,2%.

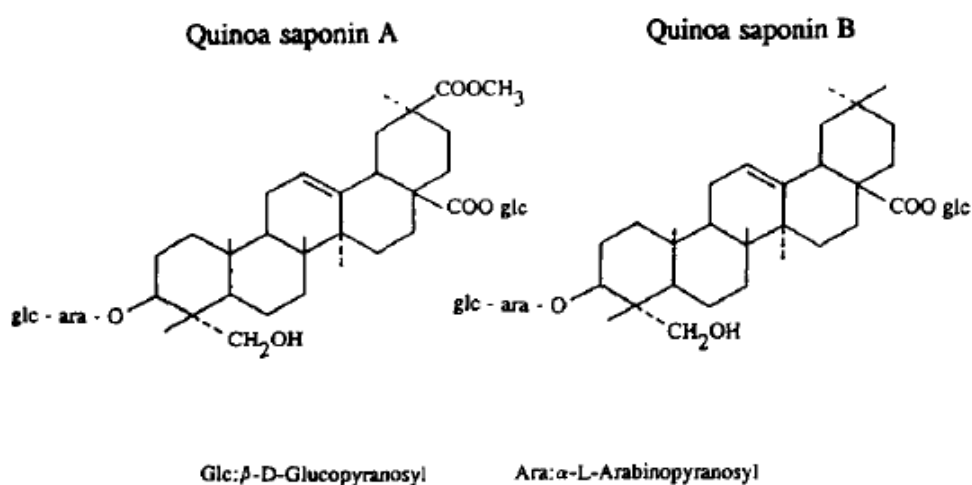


Figura 1.10. Estructura de las Saponinas Tipo A y B de quinoa (Ruales & Nair, 1993).

La dosis letal de las saponinas puede oscilar desde 100 a 6000 mg/kg de peso corporal, lo que demuestra la gran variación en la toxicidad de saponinas a partir de diferentes fuentes. La dosis oral letal es 3-1000 veces mayor que la dosis intravenosa letal. La gran variación señala que la toxicidad, los efectos fisiológicos y las propiedades farmacológicas están íntimamente relacionados con la estructura química de las saponinas (George, 1965).

Debido a su capacidad para formar espuma estable en solución acuosa, incluso a concentraciones bajas (0,01%), las saponinas han sido empleadas en refrescos, cerveza, champús, jabones de tocador y espumas de afeitar. También se han utilizado en la fabricación de productos de confitería y productos farmacéuticos (George, 1965).

Las saponinas también son valiosas desde el punto de vista nutricional y farmacológico; al aumentar la permeabilidad de las membranas, pueden permitir

incrementar la absorción de nutrientes e incluso fármacos a nivel intestinal (Vega Gálvez *et al.*, 2010).

1.1.14. Industrialización. Usos reales y potenciales de la quinoa.

La quinoa puede emplearse en su totalidad con fines alimenticios y no alimenticios. Las hojas de las plantas se pueden emplear para el consumo en forma de ensaladas crudas o cocidas, al igual que las hortalizas de hoja (acelga y espinaca) o como harina de hojas. Además, pueden emplearse como ensilaje o para la extracción de sustancias colorantes (Montoya Restrepo *et al.*, 2005).

Los tallos pueden emplearse para obtener cenizas, concentrado para animales y celulosa como materia prima para la fabricación de papel o cartón (Montoya Restrepo *et al.*, 2005). Del fruto se obtiene la saponina y el grano perlado (Figura 1.11).



Figura 1.11. Usos del grano de quinoa (Montoya Restrepo *et al.*, 2005).

Los granos perlados pueden ser consumidos como tal o transformados en una amplia gama de productos alimenticios de elaboración industrial o doméstica. Pueden consumirse previa cocción en forma de ensaladas, sopas y guisos. Cuando son transformados industrialmente es posible producir hojuelas, extruidos, expandidos, granola y harina. Una de las formas mayormente utilizada de los granos de quinoa es en forma de harina, y a partir de esta se elaboran, al que al igual que en los cereales diversos subproductos, tales como pan, galletas, tortas, pastas, tortas, etc. (Montoya Restrepo *et al.*, 2005; FAO, 2011).

Además, del grano de se pueden aprovechar para la industrialización los constituyentes más importantes: la grasa, el almidón, la proteína y la fibra (Figura 1.12).

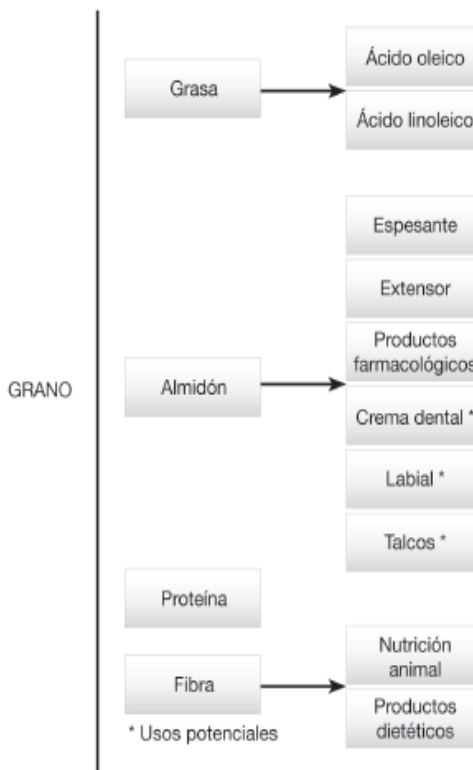


Figura 1.12. Usos de los constituyentes mayoritarios del grano (Montoya Restrepo *et al.*, 2005).

1.1.15. Harina de quinoa (HQ).

La HQ se obtiene a partir de la molienda de quinoa perlada (grano entero obtenido del escarificado y desaponificado del grano de quinoa). Se puede utilizar en casi todos los productos de la industria harinera y es factible la adición de 10, 15, 20 y hasta 40% de harina de quinoa en el pan, 40 % en las pastas, 60% en bizcochos y hasta 70% en galletas (Mujica *et al.*, 2006; Padrón Pereira *et al.*, 2014; FAO, 2011). Álvarez Jubete *et al.* (2009) estudiaron el efecto de la adición de pseudocereales a panes libres de gluten y encontraron que la adición de estas fuentes alternativas de harinas incrementó significativamente el contenido de proteína, grasa, fibra y minerales con relación al pan control, constituyéndose así en una fuente saludable de nutrientes para la elaboración de productos sin gluten. Este hallazgo reviste gran importancia ya que en general los productos sin gluten que se encuentran disponibles en el mercado poseen baja calidad y escaso valor nutritivo. Muchos de estos, contienen niveles más bajos de tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, hierro y calcio que los productos con trigo que pretenden sustituir. Además, las dietas sin gluten en general son insuficientes en fibra.

1.1.15.1. Definiciones legales.

El CAA, en su Art. 682. define a la harina de quinoa como: "...el producto obtenido de la molienda de las semillas desecadas, sanas y limpias del *Chenopodium quinoa* Willd, privadas mecánicamente o por acción de álcalis de sus tegumentos. Su contenido de agua no será superior al 14% a 100° - 105°C, la fibra bruta no será mayor de 0,6%, y su materia grasa no excederá del 1%.

A diferencia de la normativa nacional, el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), al referirse a HQ, realiza la discriminación entre harina desgerminada, integral y harina de quinoa y establece las diferencias en la composición química según se trate de una u otra. Así, este instituto define a la Harina Integral de Quinoa (HIQ) como: aquella obtenida por molienda de granos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) beneficiada, por lo tanto, debe contener todos los componentes del mismo. La granulometría final dependerá del número de tamiz utilizado según el fin para el que fue producida, pudiendo ir desde 200 a 700 micrones (IBNORCA, 2009).

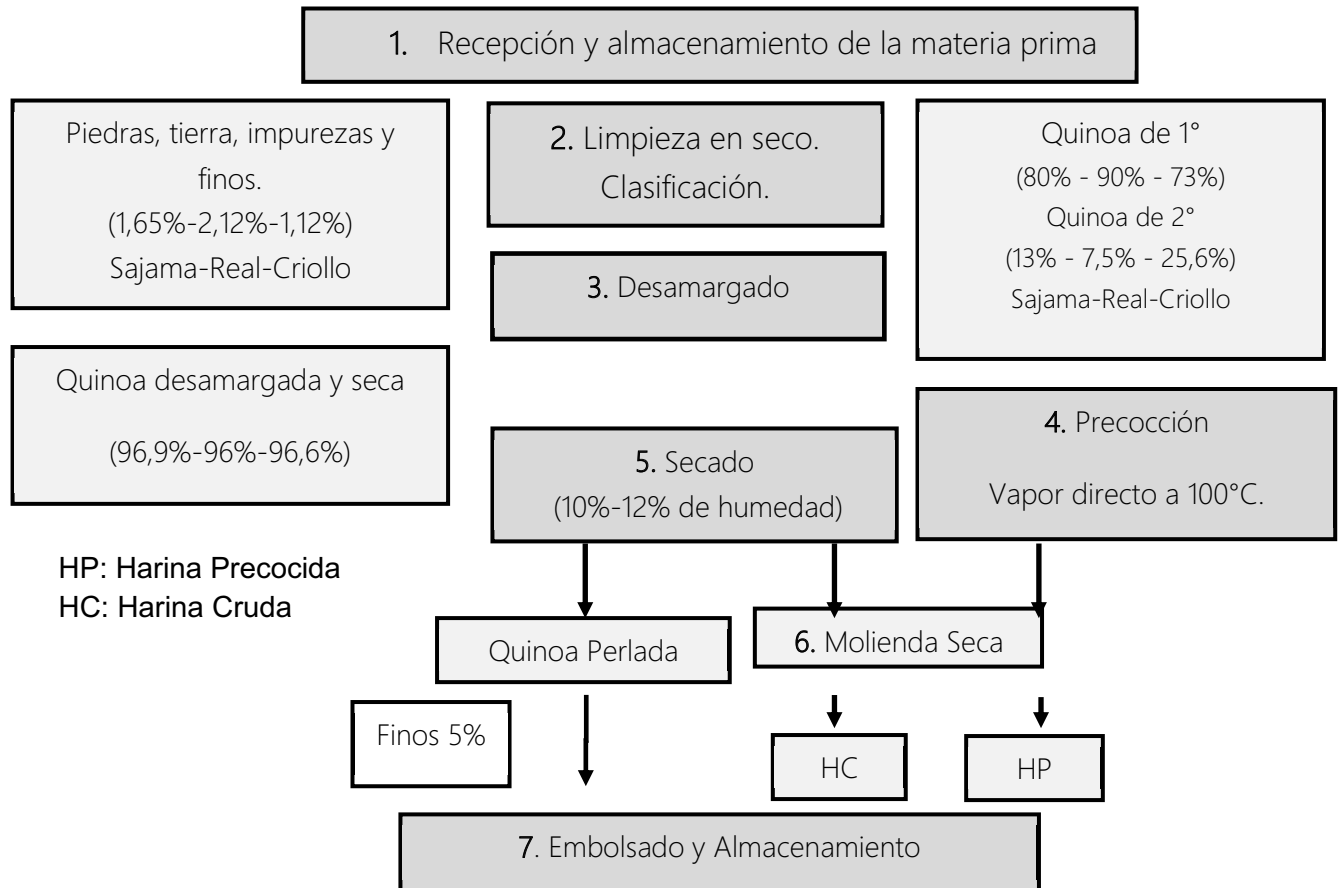
Por otro lado, la harina de quinoa desgerminada (HQD), es el producto obtenido, por la molienda de las semillas beneficiadas de granos de *Chenopodium quinoa* Willd, en cuyo proceso se separa gran parte de su germen (IBNORCA, 2009).

1.1.15.2. Formas de presentación de la harina de quinoa (HQ).

La HQ puede presentarse por definición del CAA como HQ y por definición del IBNORCA como HIQ, HQD o HQ. Además, puede tratarse de Harina Cruda (HC) de quinoa cuyo uso principal es en panificación, fideería, galletería y repostería, Harina Tostada de (HT) que se emplea preferentemente en repostería y harina instantánea de quinoa, que es Harina es Precocida (HP), gelatinizada y reducida a polvo para ser dispersada con rapidez en líquidos y es la utilizada mayormente como suplemento nutritivo (Bonamino *et al.*, 2009; Control Unión Perú, on line; Meyhuay, s.f).

La HC de quinoa se obtiene a través de la molienda de granos beneficiados, es decir, granos que previamente han sido sometidos a un proceso de selección y limpieza, desaponificado por vía seca, húmeda o mixta y secados. En el caso de las otras dos harinas, las semillas además son sometidas a un proceso de tostado o precocción según se trate de HT o HP respectivamente (Meyhuay, s.f.).

1.1.15.3. Proceso de obtención de harina de quinoa cruda (HQC) y harina precocida de quinoa (HQP)



Los porcentajes (%) mencionados en los recuadros hacen referencia a porcentajes de rendimiento.

Figura 1.13. Diagrama de flujo para la obtención de quinoa perlada, harina cruda y precocida. Adaptado de Repo Carrasco *et al.*, 2007, de la Cruz Quispe (2009) y Arcilla & Mendoza (2006).

1.1.15.3.1. Recepción de la materia prima.

Cuando ingresan las partidas de granos a los establecimientos, se realizan controles de calidad sobre los mismos para luego almacenarlos en condiciones adecuadas que aseguren o retarden el deterioro. La humedad es uno de los principales factores que contribuyen al deterioro de la calidad de los granos durante el almacenamiento (Hui, 2006). El contenido de humedad adecuado durante el almacenamiento se define como aquel en que la tasa de respiración es lo suficientemente baja como para evitar la generación de calor y consecuente deterioro de las semillas (Hui, 2006). El contenido de humedad óptimo de los granos dependerá también del tiempo que el material permanecerá almacenado. En el almacenamiento a largo plazo (más de un año), se recomiendan humedades inferiores al 13%, para retardar los procesos respiratorios (FAO, 1993; Meyhuay, s.f.). En granos

almacenados a corto plazo (1 a 3 meses), la humedad puede ser superior (Hui, 2006). Una vez estabilizados los granos respecto al contenido de humedad, deben almacenarse a temperaturas inferiores a 30°C (FAO, 1993).

1.1.15.3.2. Limpieza en seco. Clasificación.

La limpieza en seco se emplea para productos de pequeño tamaño, de mayor consistencia mecánica y menor contenido de agua (cereales, nueces, avellanas, etc.). Puede realizarse por aire, magnetismo o por otros métodos físicos. Las técnicas están basadas en las diferencias físicas entre las partículas, tales como tamaño, forma o densidad. Esto permite clasificar el material según alguna característica física mensurable. Las cuatro principales son: tamaño, forma, peso y color. Los principales tipos de instalaciones utilizadas para este tipo de limpieza son:

-Clasificadores de aire: funcionan a base de un chorro de aire que elimina de las semillas las sustancias contaminantes por diferencia de densidad.

-Separadores magnéticos: permite separar de las semillas fragmentos de material ferromagnético.

-Separadores de criba y clasificación por forma y tamaño: Durante la separación, el material pasa a través de una serie de cribas de diferentes tamaños o formas y es separado según estas características (Mc Cabe *et al.*, 1993; Fellows, 1994). La clasificación por forma puede realizarse manual, mecánicamente o bien por procesado de imagen (Fellows, 1994). La separación de los granos de quinoa por tamaño, permite no sólo separar impurezas, sino también clasificarlos, asumiendo diferentes denominaciones, valor comercial y usos.

1.1.15.3.2.1. Forma de las partículas.

La forma de una partícula individual se puede expresar convenientemente en función de la esfericidad, que es independiente del tamaño de la partícula.

Esfericidad (\emptyset): Se define como el área superficial de la esfera. Se determina a partir de la siguiente ecuación (Stroshine, 1998):

Ecuación 1.1.
$$\emptyset = \frac{D_e}{l} \times 100$$

Donde:

D_e = Diámetro equivalente

l = Longitud de la semilla

1.1.15.3.2.2. Tamaño de las partículas.

Diámetro equivalente (D_e): Es definido como la media geométrica de las tres dimensiones: d_1 , d_2 y espesor (e) fue calculado utilizando la siguiente expresión (Vilche *et al.*, 2003):

Ecuación 1.2.
$$D_e = (l \times a \times e)^{1/3}$$

Donde:

a = Ancho, mm

l = Largo, mm

e = Espesor, mm

Para la clasificación por tamaños, se utilizan cribas de abertura de tamaño fijo, o variable, estacionarias, rotativas o vibratorias (Fellows, 1994).

En las cribas las partículas pasan a través de las aberturas por gravedad, pero en algunos casos son forzadas a través de la malla por medio de un cepillo o mediante fuerza centrífuga. Existen partículas que pasan fácilmente a través de aberturas en una superficie estacionaria, pero otras precisan de alguna forma de agitación, tal como sacudidas, giro o vibración mecánica o eléctrica. En la Figura 1.14 se ilustran movimientos típicos de tamices (Mc Cabe, 1993).

La criba plana múltiple, está constituida por una serie de cribas inclinadas u horizontales con un tamaño de abertura que oscila de 20 μm a 125 mm en el interior de una estructura vibratoria (Fellows, 1994).

Los tamices más finos, aproximadamente de 150 mallas, no se utilizan habitualmente debido a que con partículas muy finas generalmente resultan más económicos otros métodos de separación (Mc Cabe, 1993). La distribución del tamaño de las partículas de un determinado producto se expresa, bien como la fracción másica del material que resulta retenida por la criba o bien por el porcentaje acumulativo del material retenido (Fellows, 1994).

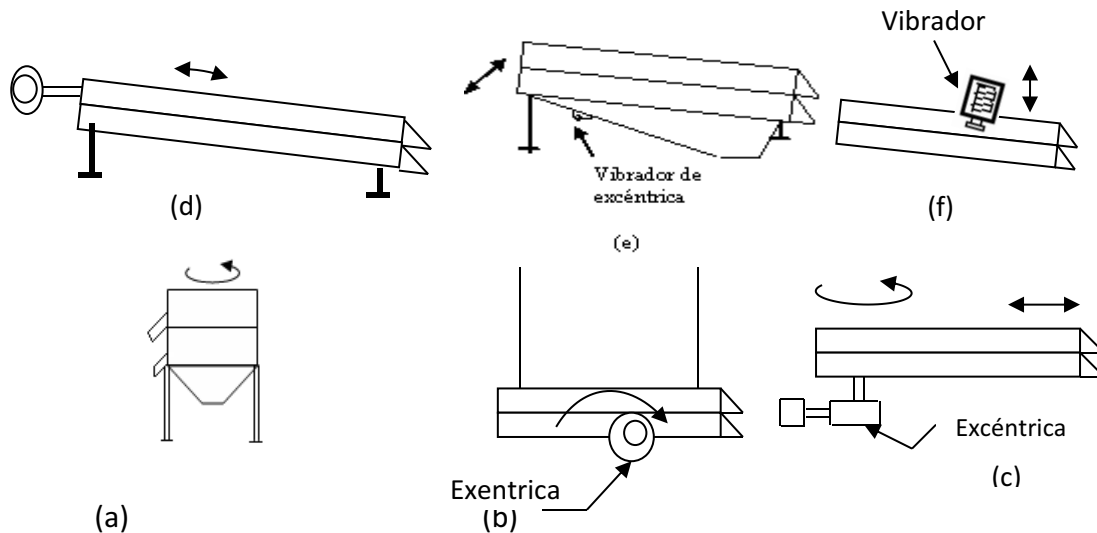


Figura 1.14. Movimientos de tamices: (a) giro en un plano horizontal; (b) giro en un plano vertical; (c) giro en un extremo y sacudida en otro; (d) sacudida; (e) vibración mecánica; (f) vibración eléctrica

1.1.15.3.2.3. Factores que controlan la velocidad de separación (Fellows, 1994):

- La forma y distribución por tamaños;
- La naturaleza del material de la criba;
- La amplitud y frecuencia de la oscilación y;
- La eficacia del procedimiento utilizado para evitar la obstrucción de la criba.

Los tamices vibratorios que vibran con rapidez y pequeña amplitud se obstruyen con menos facilidad que los tamices giratorios. Son habituales vibraciones comprendidas entre 1800 y 3600 vibraciones por min (Mc Cabe, 1993).

La vibración por sí misma no suele resultar suficiente para asegurar la adecuada separación de las partículas. Es preciso que la criba describa también movimientos rotatorio que distribuya el material por toda la superficie de cribado y uno vertical que rompa los aglomerados y libere las partículas que bloquean algunas de las aberturas (Fellows, 1994).

1.1.15.3.2.4. Capacidad y efectividad de las cribas.

La capacidad de una criba se define como la cantidad de alimento que la atraviesa en un segundo por metro cuadrado de superficie (Fellows, 1994). Capacidad y efectividad son factores opuestos. La capacidad de una criba es controlada variando la velocidad de alimentación en la unidad. La eficacia obtenida para una capacidad dada depende de la naturaleza de la operación de cribado (Mc Cabe, 1993). La probabilidad para el paso de una partícula de tamaño inferior es una función del número de veces que la partícula golpea la superficie de la criba y la probabilidad de paso durante un solo contacto (Mc Cabe, 1993).

1.1.15.3.2.5. Factores que determinan el rendimiento de pasaje de una criba.

- La perforación;
- El área de la zaranda;
- Una alimentación regular de las zarandas;
- Las semillas deben alimentar la zaranda en capas finas;
- El proceso de separación debe durar lo más posible.

La velocidad a la que pasa la semilla sobre la zaranda depende de la clase de semilla y de su grado de desplazamiento, de la intensidad y de la clase de sacudimiento o movimiento de agitación y de la inclinación de la zaranda.

1.1.15.3.2.6. Inconvenientes del uso del cribado para la clasificación.

Existen factores que reducen la eficacia y eficiencia del proceso de cribado como mecanismo de clasificación (Mc Cabe, 1993; Fellows, 1994):

- El cegado, que consiste en el atasco de las partículas en una luz de tamiz;
- Sobrecarga de material;
- Excesiva humedad en el ambiente, que provoca una aglomeración entre partículas o con el hilo metálico de la criba;
- La introducción de partículas muy grandes tampoco daría una buena separación;
- La capacidad y la eficacia son en general bajas para partículas menores a 150 mallas aproximadamente.

1.1.15.3.2.7. Clasificación y limpieza de frutos de quinoa (FQ).

La clasificación y limpieza de los FQ es un requisito indispensable previo a la molienda. Durante esta etapa, el grano es librado de impurezas, tales como polvo, residuos vegetales, partículas extrañas, entre otros.

En quinoa se han identificado al menos tres métodos de clasificación después de la cosecha (Nieto & Vimos, 1992).

1.1.15.3.2.7.1. Limpieza y clasificación tradicional.

La eliminación de impurezas (hojas, perigonios, pedazos de tallos, etc.), se realiza aventando manualmente los granos, mientras que la clasificación se realiza con la ayuda de tamices o zarandas de manejo manual. Estos métodos son utilizados por pequeños productores, cuya producción es en su mayoría para autoconsumo.

1.1.15.3.2.7.2. Limpieza y clasificado mejorado.

En el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador, encontraron que el sistema más adecuado de clasificar los FQ fue con la clasificadora conocida como "Cajón de zarandas" o "Mini clipper", en la que la clasificación por tamaños se realiza con un juego de tamices y la eliminación de impurezas con un tamiz y ventilación final. Con esta máquina, se definieron porcentajes de extracción.

1.1.15.3.2.7.3. Limpieza y clasificado industrial.

Puede realizarse con maquinaria provista básicamente de cuatro cribas: dos limpiadoras y dos clasificadoras (de 1,3 mm y 1,8 mm). La criba clasificadora con apertura de 1,8 mm separa la quinoa de primera (1,8 mm de diámetro o más) y la quinoa comercial o de segunda calidad, que no alcanza este diámetro. En la limpieza industrial se emplean además ventiladores.

Con este método se han logrado procesar alrededor de 0,5 t/hora, con los siguientes resultados: Semilla de primera: 75 a 80%; Material comercial: 15 a 20% e Impurezas y pérdidas: 5% (Nieto & Vimos, 1992).

El porcentaje de extracción de grano de primera depende de varios factores entre ellos: estado de madurez de la quinoa, variedad y grado de contaminación con impurezas (Nieto & Vimos, 1992).

1.1.15.3.3. Desamargado de los frutos de quinoa.

El desamargado de los FQ puede realizarse mediante métodos húmedos, secos o la combinación de ambos (Corzo Barragán, 2009; Nieto & Vimos, 1992).

El método húmedo es el tradicionalmente empleado en la eliminación de las saponinas de los FQ. Consiste en el lavado con agua mientras los frutos son frotados entre sí con las manos o con una piedra (Nieto & Vimos, 1992; Repo Carrasco, *et al.*, 2003; Tapia & Fries, 2007). Otra alternativa al método a nivel industrial consiste en someter los granos a un proceso de remojo, turbulencia o agitación mecánica en agua circulante o estancada (Nieto & Vimos, 1992).

El lavado es un método eficiente para remover las saponinas, sin embargo, incluso después de lavar los frutos pueden permanecer algunos restos de estos glicósidos en las semillas. El lavado reduce en mayor proporción el contenido de saponinas que el método seco abrasivo, siendo los valores remanentes de estos compuestos de 0,32% y 1,05% respectivamente (Chauhan *et al.*, 1999). Los problemas que presenta son el alto costo de secado y la eliminación de aguas residuales que contienen saponinas. Otro riesgo es que

los granos puedan comenzar a germinar durante el proceso de lavado y secado, dado el alto poder germinativo que poseen (Nieto & Vimos, 1992; Repo Carrasco *et al.*, 2003).

Por otro lado, si bien existen varios sistemas de eliminación de la saponina por escarificado (método seco), todos tienen el mismo principio. Los métodos secos (escarificación o descascarado abrasivo) consisten básicamente en el desprendimiento del pericarpio mediante la fricción mecánica de los frutos sobre una superficie abrasiva y la separación del polvillo resultante, mediante ventilación (Nieto & Vimos, 1992; Mujica *et al.*, 2006; Tapia & Frías, 2007). Estos métodos son más baratos que el lavado, pero tiene la desventaja de que son menos eficientes para remover las saponinas. Si se aumenta la eficiencia, y el grano se pule más intensamente, se pueden perder nutrientes, como minerales, vitaminas, grasas o proteínas ya que están presentes en mayor proporción en el germen (Repo Carrasco, *et al.*, 2003; Mujica *et al.*, 2006). Otros autores han informado que el contenido remanente de saponinas luego de escarificar los granos puede ir desde 0,04 a 0,25% dependiendo de la variedad utilizada (Mujica, *et al.*, 2006).

El método más recomendado para la eliminación de saponina es el método mixto o combinado, donde la quinoa se pule primero rápidamente, y después, se lava brevemente. Con esto, los costos de secado son más bajos y se disminuye la concentración de saponina en las aguas residuales (Nieto & Vimos, 1992; Repo Carrasco *et al.*, 2003).

1.1.15.3.4. Cocción de las semillas de quinoa (SQ).

En general, los alimentos son sometidos a la acción de energía calórica para mejorar algunas características físico-químicas, sanitarias y sensoriales antes de ser consumidos.

Los métodos de cocción se pueden clasificar en función del medio utilizado para la transferencia de calor. Los medios de transferencia calórica normalmente utilizados son agua líquida o en forma de vapor, aceite y aire (Mudambi *et al.*, 2006).

Tabla 1.10. Clasificación de los Métodos de Cocción (MC).

<i>Medio</i>	Nombre del MC
<i>Agua</i>	(i) Hervido (ii) Cocción a fuego lento (iii) Guisado
<i>Vapor</i>	(i) Vapor (ii) Cocción a presión
<i>Grasa</i>	(i) Freído en aceite (ii) Salteado
<i>Aire</i>	(i) Tostado (ii) Horneado (iii) Asado a la parrilla

Fuente: Mudambi et al., 2006.

Los MC tradicionales para quinoa emplean un medio húmedo o acuoso para la transferencia de calor durante la cocción, siendo la convección la forma de transmisión calórica. Dentro de ellos se encuentran la cocción por inmersión tradicional o hervido, el hervido a fuego lento, vapor a presión normal y vapor a presión elevada (Garda, 2009; Mudambi *et al.*, 2006).

Durante el hervido, la temperatura máxima del agua es de 100°C a 1 atm, esto favorece transformaciones físico-químicas como la gelatinización del almidón, pero también hay solubilización parcial de minerales y deterioro de algunas vitaminas, dependiendo principalmente del tamaño del alimento y del tiempo de cocción (Moncada Rodríguez & Gualdrón de Hernández, 2006; Mudambi *et al.*, 2006).

Por otro lado, en la cocción al vapor, si bien se alcanza la misma temperatura, se evita el contacto con el diluyente y por ende, los fenómenos de disolución son pocos. Los alimentos no entran en contacto directo con el agua líquida, sino con vapor. Otra alternativa, la cocción con presión, permite que la temperatura de trabajo oscile entre los 110°C y 120°C, en función de la presión utilizada (Garda, 2009). La mayor temperatura reduce el tiempo de cocción de los alimentos, por lo tanto, se reduce la pérdida de nutrientes termolábiles y se ahorra tiempo y combustible (Mudambi *et al.*, 2006). Sin embargo, si existe inmersión en el agua se podrían producir pérdidas indeseables de nutrientes de interés nutricional.

El tiempo necesario para la cocción de los alimentos depende tanto de la cantidad de alimento a cocinar, el material y grosor del recipiente en el que se cocina y la eficiencia del combustible utilizado (Mudambi *et al.*, 2006).

Los principales factores que afectan el tiempo de cocción de cereales son (Mudambi *et al.*, 2006):

- El tamaño de la partícula;
- El contenido inicial de agua como consecuencia de tratamientos previos, como el remojo o lavado prolongado, donde los granos de cereales se hinchan parcialmente mejorando la velocidad de cocción;
- La presencia o ausencia de la capa de salvado;
- La temperatura disminuye el tiempo de cocción.

1.1.15.3.5. Secado de las semillas de quinoa.

El secado es un requisito indispensable luego de desamargar los frutos por métodos húmedos o combinados y/o cocinarlos cuando el objetivo es obtener harina. Es preciso alcanzar una humedad adecuada para la molienda, esto es 14% como máximo (Meyhuay, s.f.).

El secado de un sólido significa la eliminación de cantidades relativas de agua u otro líquido hasta niveles aceptables. Esta operación constituye en muchos casos el paso final en un proceso, y el producto resultante a menudo se encuentra listo para el envasado final (Mc Cabe, 1993).

El agua u otros líquidos pueden eliminarse de los sólidos mecánicamente por prensado o centrifugación o térmicamente por vaporización (McCabe, 1993).

1.1.15.3.5.1. Clasificación de los secadores.

Los secadores se pueden clasificar de diversas formas, una de ellas incluye el modo de transferencia calórica. Dentro de este criterio se incluyen los *secadores directos* y los *indirectos*. En los primeros, el sólido húmedo se expone directamente a un gas que suministra calor y arrastra el líquido vaporizado; en el caso de los *secadores indirectos* el calor se transmite al sólido húmedo indirectamente, a través de la pared del recipiente que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado independientemente del medio calefactor. Se encuentran además secadores dieléctricos, secadores por radiación o microondas, este tipo de secadores son también directos (Mc Cabe, 1993; Maupoey *et al.*, 2001).

El secado además puede ser continuo o discontinuo. En los secadores directos convectivos, el sistema continuo genera menores costos, sin embargo, los discontinuos se emplean para bajas capacidades de producción (Maupoey *et al.*, 2001).

En los secadores directos el sólido puede estar expuesto al gas de las siguientes maneras:

- a. El gas circula en dirección paralela y sobre la superficie de la capa de sólidos o en ambas caras de la placa (Figura 1.15).

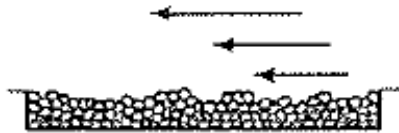


Figura 1.15. Flujo de gas sobre un lecho estático de sólidos.

- b. El gas atraviesa el lecho de sólidos granulares que están soportados en una criba. Esto se conoce como circulación de secado a través de los sólidos (Figura 1.16).

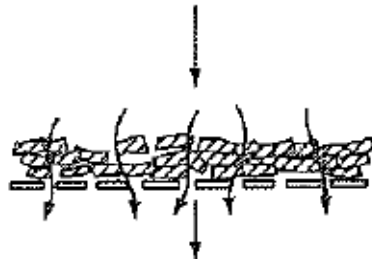


Figura 1.16. Flujo de gas que atraviesa el lecho de sólidos entre las partículas.

- c. Los sólidos avanzan en el interior de un cilindro rotativo ligeramente inclinado mientras este gira. En la Figura 1.17 se esquematiza el movimiento de los sólidos dentro de la secadora.

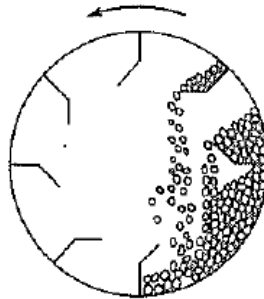


Figura 1.17. Secadores rotatorios.

- d. El gas pasa a través de los sólidos a una velocidad suficiente para fluidizar el lecho (Figura 1.18).

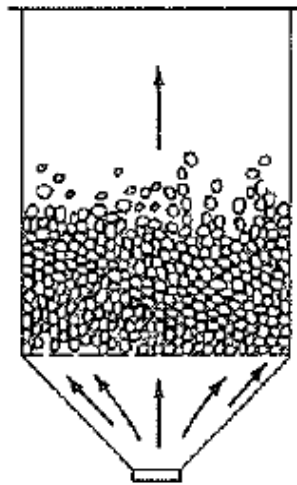


Figura 1.18. Lecho fluidizado.

- e. Los sólidos son arrastrados por una corriente de gas a alta velocidad y transportados neumáticamente a partir de un dispositivo de mezcla a un separador mecánico (Figura 1.19).

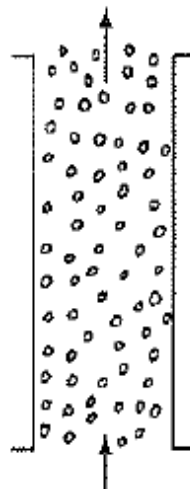


Figura 1.19. Flujo del gas-sólido a favor de corriente en un secador neumático.

1.1.15.3.5.2. Deshidratación por aire caliente. Psicrometría.

La capacidad del aire para eliminar el agua de un alimento depende de su temperatura y del agua que contiene, que se expresa como “humedad absoluta” (kilos de vapor por kilo de aire seco) o como “humedad relativa” en porcentaje, que representa la relación existente entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura, multiplicado por cien (Fellows, 1994).

Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de vaporización, con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor. Este es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre el alimento una zona de baja presión. Esto proporciona un gradiente que impulsa la salida del agua (Fellows, 1994).

Bruno (2014) ha descrito los siguientes conceptos:

- **Humedad de equilibrio:** Es el valor de humedad del sólido en el cual su presión de vapor iguala a la presión de vapor del agua en la atmósfera que lo circunda. Si el sólido posee una humedad mayor que la de equilibrio se secará hasta alcanzar el equilibrio con el aire, mientras que si es menor absorberá agua del aire hasta alcanzar la condición de equilibrio.

- **Cuerpos húmedos y cuerpos higroscópicos:** Cuando la presión de vapor del sólido húmedo es menor que la del vapor de agua contenida en el aire a la misma temperatura, el sólido es higroscópico. Si la presión de vapor que acompaña al sólido es igual a la presión de vapor del agua a esa misma temperatura, el sólido recibe el nombre de sólido húmedo.

- **Humedad libre:** Es la humedad que está en exceso con relación a la humedad en equilibrio. Esta es la humedad que se puede eliminar por evaporación que depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

- **Humedad ligada:** Hace referencia a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura. Determinando la humedad crítica se puede establecer la humedad ligada.

- **Humedad no ligada:** Humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

En quinoa se ha estudiado el coeficiente de difusividad del agua a diferentes temperaturas y humedades iniciales. Los valores del coeficiente de difusión indican que la tasa de secado en las SQ aumenta cuando aumenta con la temperatura del aire y la humedad inicial (23,44 %) (Gely & Santalla, 2007).

1.1.15.3.5.3. Parámetros del secado de granos.

La FAO (1991) ha establecido los siguientes parámetros, como indispensables a considerar en la operación de secado:

- **Condiciones del aire del ambiente:** Estos parámetros tienen poca influencia sobre la tasa de secado a altas temperaturas; sin embargo, determinan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura de secado deseada.

- **Temperatura de secado:** La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado. La temperatura, junto con los flujos de aire, determina la cantidad de agua evaporada en un secador.

- **Presión estática y flujo de aire:** La pérdida de carga de un flujo de aire a través de una capa de granos, conocida generalmente como resistencia al flujo de aire y denominada presión estática, influye en este flujo y, en consecuencia, en la tasa de secado. Para determinado tamaño de ventilador, cuanto mayor sea el espesor de la capa de granos y menor la cantidad de impurezas en ella, mayor será el flujo de aire y también la tasa de secado.

- **Humedad inicial del producto:** Cuanto más elevado sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad, las fuerzas de adsorción de la estructura celular del

material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo.

La humedad contenida en el sólido puede expresarse en base húmeda (Hb) o en base seca (Hs).

Ecuación 1.3.
$$Hs = \frac{Hh}{100-Hb} \times 100$$

Ecuación 1.4.
$$Hb = \frac{Hs}{100+Hs} \times 100$$

Donde:

Hh: Humedad en base húmeda, %

Hs: Humedad en base seca, %

- **Flujo del producto dentro del secador:** La velocidad con que el material pasa por el secador, denominada con mayor frecuencia flujo de masa o tiempo de residencia del producto en el secador, puede influir en la tasa de secado, la eficiencia del proceso y la calidad final del producto. Por otra parte, hay un aumento del consumo de energía específica, esto es, de la energía que se necesita para evaporar una unidad de masa de agua y una disminución de la eficiencia térmica del secado.

- **Historia del producto:** Se ha comprobado al menos en maíz, que diferentes variedades se secan a tasas diferentes. Es muy probable que otros granos presenten un comportamiento parecido.

1.1.15.3.6. Molienda Seca.

La molienda es una operación unitaria que se define como la reducción de tamaño de partículas sólidas a partir de la aplicación de fuerzas mecánicas (impacto o cizallamiento), las cuales provocan la fractura o quebramiento de las partículas. La molienda implica una transformación física que debe conservar las características de la materia prima inicial (Berk, 2009).

Es importante conocer con claridad el tipo de harina que se pretende obtener pues de ello depende el tipo de molino que se emplee y las características físico-químicas y nutricionales del producto final.

1.1.15.3.6.1. Mecanismos de reducción de tamaño en sólidos.

Para la reducción de tamaño en alimentos sólidos se utilizan tres tipos de fuerzas: de compresión, de impacto o cizalla. En la maquinaria, pueden o no actuar conjuntamente los tres tipos de fuerzas, pero generalmente predomina una sobre las otras (Fellows, 1994).

Cuando un alimento se somete a un *stress*, la tensión interna que se crea en el alimento genera en una primera instancia la deformación de los tejidos, si la tensión se encuentra aún por debajo del nivel denominado "límite del *stress* elástico", si el *stress* cede, el alimento puede recuperar su forma original. Sin embargo, cuando el *stress* en un determinado punto supera estos límites, el alimento experimenta una deformación permanente. Si el *stress* continúa, la tensión alcanza un punto de cesión (Y) por encima de la cual el alimento empieza a fluir, a esto se lo conoce como región de ductibilidad. Finalmente, si se supera la tensión de rotura, el alimento se rompe por su línea de debilidad. A medida que el tamaño de las piezas se reduce, el número de líneas de debilidad se va reduciendo y la tensión de rotura que deberá superarse aumenta. Cuando las líneas de debilidad se han agotado por completo, es preciso crear nuevas fisuras que permitan proseguir con la operación, esto requiere un aporte de energía adicional (Fellows, 1994).

La cantidad de energía absorbida por el alimento antes de romperse se halla determinada por su grado de dureza y su tendencia a la rotura que depende a su vez de su estructura. Otros factores que influyen sobre el aporte energético necesario son el contenido de agua y la sensibilidad del alimento al calor.

Al evaluar el rendimiento de una operación de reducción de tamaño, dos aspectos tienen que ser considerados: la distribución del tamaño de partícula del material de tamaño reducido y el gasto de energía. El grado de uniformidad de tamaño en el producto es una cuestión importante cuando las especificaciones del producto requieren tamaños de partículas dentro de un rango determinado. La distribución de tamaño de partículas depende de las características del molino, condiciones de funcionamiento y propiedades del material molido, pero es casi independiente del tamaño de las partículas en la alimentación (Berk, 2009).

El consumo total de energía de un molino consta de dos partes: la energía impartida al material molido y que necesita para superar la fricción del sistema mecánico del molino. La energía transferida al material corresponde a la del trabajo de deformación y se almacena en la partícula como tensión interna. Cuando la partícula se fractura, la energía almacenada se libera y parte de ella proporciona el incremento en la energía de la superficie, pero la mayor parte se libera en forma de calor. Con el tiempo, las pérdidas por fricción también generan calor. En consecuencia, la reducción de tamaño puede resultar en considerable aumento de la temperatura del material tratado (Berk, 2009)

1.1.15.3.6.2. Eficiencia de la molienda (Triturado)

La eficiencia de la molienda es definida como la relación del incremento de energía superficial a la energía total impartida al material (Berk, 2009).

1.1.15.3.6.3. Eficiencia mecánica.

La eficiencia mecánica de un dispositivo de reducción de tamaño se define como la relación de la energía transferida al material con el consumo total de energía del dispositivo, por unidad de masa de material tratado (Berk, 2009).

1.1.15.3.6.4. Tipos de molinos.

Los molinos son equipos que se encargan de reducir el tamaño del material hasta obtener polvos. Existen varios tipos de molinos que se clasifican de acuerdo con la forma en la que se aplican las fuerzas.

Molinos de impacto. El principal representante es el Molino de Martillos (MM) (Figura 1.20). Este molino consiste en una cámara recubierta con acero, los elementos molientes están acoplados en el eje rotor dotado de martillos que giran a altas velocidades en el interior de la carcasa. La reducción de tamaño es producida principalmente por las fuerzas de impacto, que se genera cuando los martillos impulsan los materiales hacia la plancha de recubrimiento (Fellows, 1994; Berk, 2009).

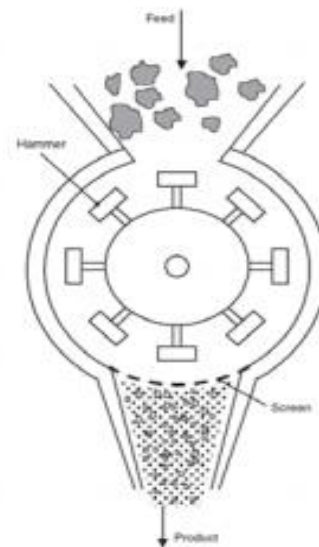


Figura 1.20. Molino de Martillo.

El material permanece dentro de la cámara de molino hasta que alcanza el tamaño requerido para ser descargado a través una criba que restringe la salida. En estas

condiciones de “estrangulamiento” son las fuerzas de cizalla las principales responsables de la reducción del tamaño (Fellows, 1994). Se utiliza para la molienda de productos con cierto grado de dureza o bien para materiales quebradizos.

Las variables de operación de este equipo son: la velocidad de alimentación, velocidad de giro, la separación, el número de martillos y el diámetro de la criba (Brennan *et al.*, 1998; Mc Cabe, 1993).

Molinos de presión. Uno de los más representativos es el molino de rodillos. Estos se utilizan ampliamente en la industria harinera. El material se comprime entre un par de rodillos que giran en sentido contrario de manera que las partículas son atrapadas y sometidas a fuerzas de compresión que causan la reducción de tamaño. El molino puede presentar varios rodillos con disminución gradual de separación entre ellos (Figura 1.21).

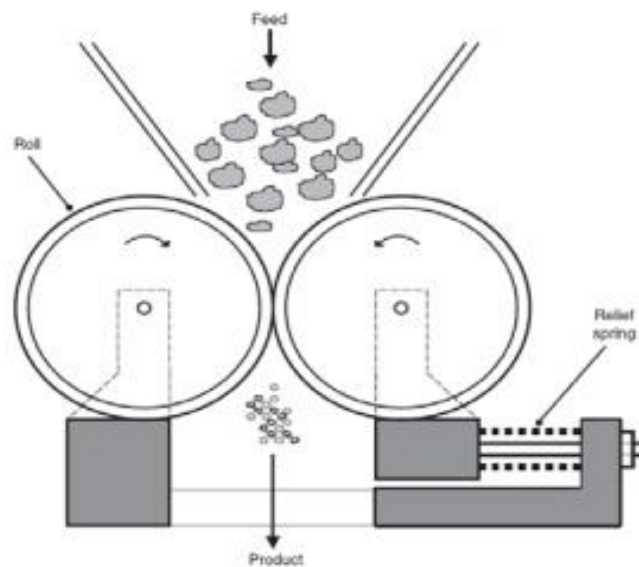


Figura 1.21. Molino de rodillo.

Molino de desgaste: El material se muele entre dos superficies corrugadas que se mueven en sentido contrario una respecto a la otra. El principal mecanismo de acción en molinos de desgaste es de cizalla, debido a la fricción entre la partícula y el par de superficies de molienda. Los representantes de este tipo son el molino de bolas o de disco.

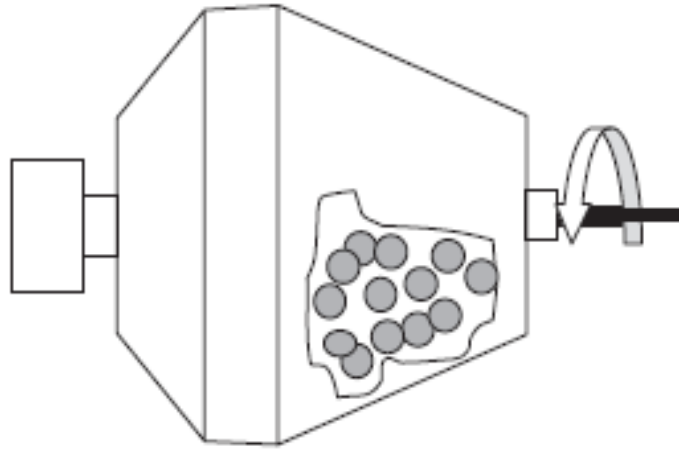


Figura 1.22. Molino de bolas.

1.1.15.3.6.5. Factores que influyen en la reducción de tamaño:

- **Composición Química:** La humedad y el contenido de grasa o aceite son los aspectos de la composición químicas más influyentes durante la molienda. Además, según sea la composición del material, se tendrá una mayor o menor sensibilidad a la temperatura con riesgo de descomposición del producto. Las partículas durante la reducción de tamaño se encuentran en constante fricción y movimiento provocado aumento de temperatura que se disipa en forma de calor (Brennan, 1998).

- **Humedad:** El comportamiento reológico y mecánico de los materiales secos como los granos está afectado por su contenido de humedad (Stroshine, 1998). Las semillas pierden sus propiedades de fracturabilidad con la humedad, donde se requiere una mayor deformación para lograr fracturarse, permaneciendo mayor tiempo dentro del molino lo cual genera un mayor consumo de energía. La deformación no cambia significativamente cuando las semillas tienen altos contenidos de humedad (Dziki & Laskowaki, 2005).

Si la humedad del material oscila entre un 10 y 12% se ve beneficiada la reducción de tamaño, en cambio una humedad superior, puede provocar empastamiento del molino o en la criba de salida, ya que los materiales se vuelven pastosos y adherentes (Brennan, 1998).

- **Contenido en grasa o aceite:** Si la cantidad de grasa o aceites es elevada produce aglomeraciones y por consiguiente el atascamiento del molino. Los materiales grasos exigen trabajar con bajas temperaturas para que las grasas puedan solidificarse haciendo el material altamente friable (Brennan, 1998).

- **Dureza:** Se define como la energía necesaria para romper el material. Los productos más duros son más difíciles de triturar por lo tanto se requiere mayor energía y los tiempos de residencia son más prolongados (Brennan, 1998).

- **Friabilidad o fragilidad:** están relacionadas con la estructura de los materiales y se define como las características que presentan los materiales para romperse. De la estructura dependerá la clase de fuerza que hay que aplicar para efectuar la trituración involucrando la forma y tamaño, así, mientras más pequeña es la partícula mayor es la cantidad de energía que necesita para romperse (Brennan, 1998).

- **Tamaño y forma:** La uniformidad del tamaño y forma permite mayor control del proceso para obtener productos más homogéneos. Si las geometrías son similares los desperdicios son menores y el manejo durante la operación es más fácil (Brennan, 1998).

1.1.15.3.6.6. Molienda de semillas de quinoa (SQ).

A partir de la molienda de granos beneficiados de quinoa se pueden obtener diferentes tipos de harinas: integrales, leudantes, tipo 000 y 0000. La molienda puede ser rudimentaria, artesanal o industrial. La primera de ellas se realiza con de molinos de piedra y la molienda artesanal se efectúa a través de MM y molino de discos, generalmente se practica este tipo de molienda en áreas rurales (Alcócer Vargas, 2009). La molienda industrial emplea un molino tipo “*Bravender*” con rodillos dentados para la trituración. En esta molienda es preciso realizar un remojo previo a fin de ablandar las capas superficiales del grano y permitir una eficiente separación del endospermo. Las variables de molienda son el número de rodillos, tipo de malla y la humedad del grano que debe ser de 14% para facilitar la eliminación de la cáscara o afrecho antes de pasar por el segundo rodillo. De esta manera se puede obtener una harina de tipo 000 adecuada para la elaboración de pastas, fideos, panes y pasteles, con un rendimiento harinero del 60%. El porcentaje de harina o rendimiento de molienda de quinoa fue definido como la cantidad de almidón presente (Rojas *et al.*, 2010). Otra definición propuesta entiende que el rendimiento se determinará mediante un balance de masa entre la harina de quinoa obtenida y los residuos del proceso (Mujica, *et al.*, 2006). El rendimiento harinero empleando un molino artesanal, otorga rendimientos del 40% (Rojas *et al.*, 2010). Por otro lado, la molienda con MM empleando una malla 80 brinda rendimientos que pueden ir desde 60 a 85% dependiendo la variedad (Mujica *et al.*, 2006). Reynaga *et al.* (2013) estudiaron el rendimiento harinero realizando la molienda con molino de martillos en 13 ecotipos de quinoa Real y hallaron que sólo dos de ellos presentaron rendimientos de alrededor del 50% (quinoa negra y Ayara) debido al alto contenido de fibra de los granos y el resto mostro rendimientos de aproximadamente 65%. Pajarito Parker (2005) y Castro Montero (2010) emplearon el mismo tamaño de malla y la

misma humedad de granos (mallas de 60 micrones y humedad de los granos de $15\pm 2\%$) y obtuvieron rendimientos del 94% y 38% respectivamente.

La molienda con MM de granos cocidos a una granulometría de 0,125 mm fue de 81% (De la Cruz Quispe, 2009).

Para obtener una harina más fina, no integral y de mejor color, se debe proceder a hacer una decorticación antes de la molienda en MM; esto es, la eliminación de las capas exteriores del grano. El anterior procedimiento, se puede lograr mediante descortezadores abrasivos o mediante técnicas de frotamiento.

1.1.15.3.6.7. Embolsado y Almacenamiento.

Los granos beneficiados y las harinas se deben conservar en condiciones apropiadas para garantizar su calidad sanitaria y organoléptica. Los frutos de quinoa y las harinas deben almacenarse en lugares secos y ventilados. Si la temperatura media anual no supera los 18°C , puede almacenarse a temperatura ambiente (Control Unión Perú, on line), caso contrario es recomendable almacenarla a temperaturas de refrigeración. Entre los materiales de envase, el papel kraft doble conserva el producto en buenas condiciones, libre de la proliferación de hongos y del ataque de algunos insectos (Pajarito Parker, 2005).

Capítulo 2

2. Caracterización físico-química de los Frutos de Quinoa (FQ).

2.1. Introducción al Capítulo.

En el presente Capítulo se describen algunas características físico-químicas de los FQ empleados durante el desarrollo del trabajo. Las propiedades físicas son útiles para el diseño de equipos que permitan la práctica de operaciones de acondicionamiento o relacionadas con la post-cosecha, tales como la limpieza, clasificación, transporte, aireación, secado y almacenamiento (Gely & Santalla, 2007).

Las propiedades físicas se pueden agrupar en: 1) tamaño y forma de la semilla (longitudes características, diámetro geométrico, área superficial específica, relación de aspecto); 2) propiedades gravimétricas (peso, densidad aparente, densidad real y porosidad) y 3) propiedades friccionales (ángulo de reposo y coeficiente de fricción).

En el presente trabajo se analizaron las propiedades 1 y 2 mencionadas en el párrafo precedente.

Las propiedades gravimétricas son importantes en el diseño de equipos relacionados con la aireación, secado, almacenamiento y transporte. La densidad real es útil para el diseño de equipos de separación y limpieza. Además, la porosidad de las semillas está relacionada con la resistencia al aire durante la aireación y secado, la cual es importante en la determinación del espesor de las capas de granos que pueden ser secadas, así como en la elección del tipo de ventilador (Ixtáina, 2010).

Además, las propiedades relacionadas a la morfología y tamaño permiten clasificar los granos según criterios de calidad. Estas y otras características físicas como color, además de la composición química y contenido de saponinas de los FQ otorgan a los granos diferente valor comercial. Las quinoas de granos grandes y de color blanco, antes o después del beneficiado, son tradicionalmente preferidas en el mercado, cuando el producto se comercializa como grano perlado (beneficiado o lavado), debido a su uso similar al del arroz. Las quinoas de granos pequeños generalmente se destinan a la producción de hojuelas, harinas y otros.

Las normas legales de diferentes países, como Bolivia, Perú y Ecuador establecen criterios de clasificación para los FQ. Por un lado, aquella basada clasificación basada en el tamaño de los granos, y por otro, se considera el contenido mínimo de granos enteros y máximo de granos defectuosos (verdes, quebrados, germinados, etc.) clasificándose a la quinoa en grados (1, 2 y 3). Sumado a esto, establecen los requisitos específicos que deben cumplir los granos relacionados a caracteres organolépticas como el sabor, olor y color, microbiológicos y bromatológicos (humedad, proteínas, grasa, fibra cruda, carbohidratos y

cenizas). A diferencia de estas normas, el Código Alimentario Argentino (Resolución Conjunta 261/2014 y 228/2014, InfoLeg, en línea) legisla la forma de comercialización, los requisitos para la industrialización y dentro de los requisitos bromatológicos incluyen el contenido mínimo de proteínas y máximo de humedad y cenizas.

Por otro lado, la clasificación de los granos por forma o tamaño, no debiera producir cambios en la composición nutricional de los mismos. A pesar de esto, y considerando la morfología de los frutos, especialmente la ubicación periférica del embrión se podrían producir roturas durante el tamizado por golpeteo intenso entre frutos o entre estos y las paredes de la criba, similar a lo que ocurre cuando los frutos son desamargados por escarificado (Mujica *et al.*, 2006). A partir del conocimiento de la composición química proximal, contenido de minerales, saponinas y pigmentos carotenoides de los frutos, se pueden establecer por un lado, las pérdidas en el valor nutritivo a lo largo del procesamiento hasta obtener harinas, como lo describe la Figura 1.13 y en el caso de las saponinas, establecer la eficiencia del proceso de desamargado sobre el contenido final de saponinas en semillas destinadas al consumo directo o para ser procesadas.

Por los motivos mencionados, en el presente trabajo se caracterizaron físicamente FQ cosechados en distintos años en la provincia de Salta, Argentina, a fin de aportar información básica al área ingenieril y estimular el diseño y desarrollo de maquinarias y procesos que permitan incrementar el desarrollo productivo de la quinoa en la región del Noroeste Argentino (NOA). Por otro lado, el análisis de los requisitos bromatológicos de los FQ, permiten caracterizar quinoas regionales, determinar su adecuación o no a los estándares legales y evaluar las modificaciones en el valor nutricional que pueden producirse a lo largo del proceso de industrialización.

2.2. Objetivos específicos del capítulo.

- Determinar el rendimiento durante la operación de clasificación y limpieza (tamizado) de frutos de quinoa.
- Determinar las propiedades gravimétricas (masa, densidad aparente, densidad real y porosidad), tamaño, forma (dimensiones, esfericidad y diámetro equivalente) y color de los frutos de quinoa.
- Determinar la composición química proximal y mineral (Ca, Fe, Zn y Mg) de los frutos de quinoa a fin de analizar variaciones a lo largo del proceso de obtención de harinas.
- Establecer el contenido de saponinas de los frutos de quinoa y clasificarlos según este criterio.
- Determinar el contenido de pigmentos carotenoides en los frutos de quinoa.

2.3. Materiales y Métodos.

2.3.1. Material vegetal.

Se trabajó con frutos de quinoa (FQ) variedad CICA, provenientes de los departamentos Molinos (25°25'S 66°19'O) (Cosechas 2007 – 2008) y la Poma (24°13'00"S) (Cosechas 2009, 2010 y 2011) de la provincia de Salta, Argentina.

En la determinación del contenido mineral se emplearon frutos de la cosecha 2009.

2.3.2. Caracterización física de los frutos de quinoa (FQ).

2.3.2.1. Rendimiento durante el tamizado.

Se utilizó un tamiz vibratorio *Zonytest* EJR 2000. El tamizado se realizó con movimientos tridireccionales para evitar el estancamiento de las muestras en un solo sector del tamiz. Los cambios de dirección se realizaron automáticamente cada 20 s aproximadamente. El tiempo de tamizado fue de 10 min. Para cada ciclo se colocaron 400 g de frutos, de cada uno de los lotes, previamente homogeneizados y se realizaron cinco repeticiones con cada lote.

Las mallas empleadas fueron: 8, 12, 16 (ASTM), que corresponden a aperturas de 2,38; 1,68 y 1,19 mm respectivamente.

Se calculó el rendimiento del tamizado en las mallas 12 y 16 pesando la masa de FQ retenidos luego de cada ciclo. El rendimiento se calculó aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 2.1.
$$\%R = \frac{M_2 \times 100}{M_1}$$

Donde:

$\%R$: Porcentaje de Rendimiento

M_1 : Masa inicial de frutos, g

M_2 : Masa de frutos retenidos en cada malla, g

Los frutos seleccionados para el análisis de las propiedades físicas fueron los retenidos en la malla de 1,68 mm y en el resto de las determinaciones, se emplearon los FQ retenidos en la mallas de 1,19 mm, previa homogeneización.

2.3.2.2. Propiedades gravimétricas.

2.3.2.2.1. Masa de los frutos.

Se pesaron en balanza analítica (precisión 0,0001 g) 100 FQ seleccionados al azar. Luego se extrapoló el resultado a 1000 semillas (Vilche *et al.*, 2003). Se realizaron diez

repeticiones en los lotes 2007 y 2008, diecinueve en los lotes 2010 y 2011 y veinte en el lote 2009.

2.3.2.2.2. Densidad aparente (ρ_b).

Es la relación de la masa de las semillas con respecto al volumen total que ocupa (Ixtaína, 2010). La unidad de densidad empleada fue g/cm^3 (Vilche *et al.*, 2003). Se realizaron cinco repeticiones en el lote 2011 y diez en el resto.

2.3.2.2.3. Densidad real (ρ_t).

Es la relación de masa de las semillas con el volumen “sólido” ocupado por la muestra, no tiene en cuenta el aire intergranario (Ixtaína, 2010).

La ρ_t fue medida por picnometría empleando la técnica descrita por Stroshine (1998). Se utilizó tolueno como solvente ($\delta=0.8669 \text{ g/cm}^3$) para evitar la absorción de líquido en las semillas durante el experimento. El volumen de los FQ fue equivalente al volumen de tolueno desplazado, el cual se calculó a partir de la densidad del solvente a la temperatura medida.

Ecuación 2.2.

$$\rho_t = \frac{(M_{pll} - M_{pv}) - (M_{psf} - M_{ps})}{pF}$$

Donde:

M_{pll} : Masa del picnómetro con el fluido, g

M_{pv} : Masa del picnómetro vacío, g

M_{psf} : Masa del picnómetro con el sólido y el fluido, g

M_{ps} : Masa del picnómetro con el sólido, g

Se realizaron cinco repeticiones en los lotes 2009, 2010 y 2011 y diez en los lotes 2007 y 2008.

2.3.2.2.4. Porosidad (ϵ).

Es definida como el espacio vacío o espacios de aire intergranarios. La porosidad del lecho es el espacio de aire intergranario presente en una masa de granos. Juega un papel importante durante el secado y en los procesos de aireación de los granos ya que de ella depende el movimiento y la resistencia que presenta el aire al atravesar una capa gruesa de grano (Mohsenin (1986) en Ixtaína, 2010; Hui, 2006). El porcentaje de porosidad se calculó a partir de la ecuación 2.3 (Mohsenin (1986) en Ixtaína, 2010; Stroshine, 1998):

Ecuación 2.3.

$$\varepsilon = \left[\frac{(pt-pb)}{pt} \right] \times 100$$

Donde:

pt: Densidad real

pb: Densidad aparente

2.3.2.3. Tamaño y forma de los FQ.**2.3.2.3.1. Dimensiones.**

Las dimensiones de los frutos, ancho (D_1), largo (D_2) y espesor (e) (Figura 2.1) se midieron con calibre milimétrico (precisión 0,01 mm). La selección de los mismos se realizó al azar, tomados por el método de cuarteo, realizándose 10 repeticiones en los lotes 2007 y 2008, diecinueve en los lotes 2010 y 2011 y veinte en el lote 2009. La unidad de longitud empleada fue el mm.

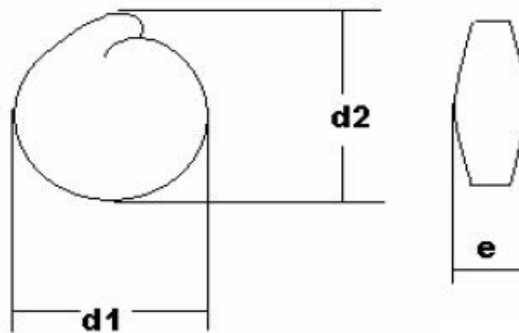


Figura 2.1. Dimensiones de los FQ: Ancho, largo y espesor (mm).

2.3.2.3.2. Diámetro equivalente.

Fue calculado utilizando la ecuación 1.2 (Vilche *et al.*, 2003).

2.3.2.3.3. Esfericidad (θ).

Se determinó la esfericidad de los frutos de quinoa a partir de la ecuación 1.1, (Stroshine, 1998).

2.3.2.4. Determinación del color en los frutos de quinoa.

Se midieron los parámetros $L^*a^*b^*$ de los FQ, con un espectrofotómetro marca *KONICA MINOLTA* mod. *CM-600 d* en el modo SCI.

Donde:

L*: Representa el índice de luminosidad (100 = blanco y 0 = negro)

a*: Mide los colores de rojo (+) a verde (-), y el 0 es neutro

b*: Mide los colores de amarillo (+) a azul (-) y 0 es neutro

Se realizaron cinco repeticiones en los lotes 2007, 2008 y 2009 y seis en los lotes 2010 y 2011.

2.3.3. Caracterización química de los frutos de quinoa.

2.3.3.1. Determinación de la composición química-proximal.

Los análisis se realizaron por sextuplicado a partir de la muestra de frutos homogeneizada.

2.3.3.1.1. Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad fue determinado según Zumbado Fernández (2004). El porcentaje de humedad se calculó según la siguiente ecuación 2.4:

Ecuación 2.4.
$$\%H = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

%H: Porcentaje de Humedad

P₁: Masa de frutos antes del secado, g

P₂: Masa de frutos después del secado, g

2.3.3.1.2. Determinación del contenido de proteínas.

Las proteínas fueron determinadas aplicando la técnica 984.13 de la AOAC (1999). Se empleó un digestor de seis posiciones marca *Büchi* mod. *K-424* y un destilador semiautomático, marca *Büchi* mod. *K-350*.

El cálculo del porcentaje de Nitrógeno presente en la muestra se realizó tal como lo muestra la ecuación 2.5.

Ecuación 2.5.
$$\%N = \frac{[(V_m - V_B) \times N_{HCl}] \times 0,014}{W_1} \times 100$$

Donde:

%N: Porcentaje de Nitrógeno

V_m: Volumen de HCl consumido en la titulación de la muestra, mL

V_b : Volumen de HCl consumidos en la titulación del blanco, mL

0,014: peso miliequivalente del N, g

N_{HCl} : Normalidad del HCl utilizado en la titulación

W_1 : Peso de la muestra, g

Para convertir el porcentaje de Nitrógeno a porcentaje de Proteínas, se multiplicó por el resultado de la ecuación 2.5 por el factor 6,25.

2.3.3.1.3. Determinación del contenido de cenizas.

La determinación del contenido de cenizas se realizó por calcinación de las muestras, según la técnica 923.03 de la AOAC (1999). Se empleó una mufla marca *Indet* mod. 273.

El contenido de cenizas se expresó como porcentaje en base seca, según la ecuación 2.6:

Ecuación 2.6.
$$\% C = \frac{P2(g)}{P1(g)} \times 100$$

Donde:

%C: Porcentaje de cenizas

P2: Peso de las cenizas, g

P1: Peso de la muestra, g

2.3.3.1.4. Determinación del contenido de lípidos.

El contenido de lípidos se determinó por extracción directa, aplicando el método semicontínuo de Soxhlet, usando n-hexano como solvente según la técnica AOAC (1999) 920.39.15. Para la evaporación del solvente del balón de extracción se empleó un rotaevaporador (marca *Buchi* mod. R215). Los lípidos extraídos se cuantificaron por diferencia de pesada entre la masa del balón que contiene el residuo y la masa del balón vacío, como muestra la ecuación 2.7 (Nielsen, 2009):

Ecuación 2.7.
$$\%G = \frac{P2(g)}{P1(g)} \times 100$$

Donde:

%G: Porcentaje de materia grasa

P2: Peso de la materia grasa, g

P1: Peso de muestra, g

Para la determinación de grasas en los frutos, estos fueron partidos en fragmentos pequeños en un mortero y homogeneizados. Esto permitió que el solvente tenga una mayor área de contacto con la muestra y que mejore la eficacia de extracción.

2.3.3.1.5. Cálculo del contenido de Hidratos de carbono.

Los Hidratos de Carbono Totales (H de C), disponibles y no disponibles se calcularon por diferencia a partir de la Ecuación 2.8 (Greenfield & Southgate, 2003):

$$\text{Ecuación 2.8. } \%HdeC = 100 - (\%Proteínas + \%Grasas + \%Humedad + \%Cenizas)$$

Donde:

H de C: Hidratos de Carbono Totales

2.3.3.2. Determinación del contenido de saponinas.

El contenido de saponinas de los frutos es un parámetro de calidad. Frutos con alto contenido de saponinas constituyen uno de los principales obstáculos para la comercialización. La quinoa es clasificada de acuerdo a la concentración de saponina como dulce o amarga, según contenga una concentración de saponinas menor o mayor al 0,11% sobre peso fresco respectivamente (Koziol, 1991).

El contenido de saponinas fue determinado como lo describen Gianna *et al.* (2012).

Los cálculos de concentración se realizaron a partir de la curva de calibración realizada con ácido oleanólico (R^2 0,9998) a partir de la ecuación 2.9 (Gianna *et al.*, 2012):

$$\text{Ecuación 2.9. } A = 4,5725 \times [S] + 0,0164$$

Donde:

A: Medición de la absorbancia

[S]: Concentración de saponinas (mg/mL)

La extracción de las saponinas de los frutos se realizó por duplicado en cada lote y a partir de cada extracto se realizaron dos mediciones espectrofotométricas.

2.3.3.3. Determinación de pigmentos carotenoides (PC).

La extracción de los pigmentos carotenoides se basó en el método 14-50 de la AACC (2000) a partir de frutos enteros. Se midió la absorbancia a 435,8 nm en un espectrofotómetro UV/visible (marca *Perkin Elmer* mod. *Lambda 25*).

El contenido de PC se calculó directamente a partir de lectura de la absorbancia y utilizando el factor de conversión de 1,6632 (Este factor representa la capacidad de absorción de caroteno en butanol saturado de agua; es decir, 1 mg de pigmento en 100 ml

de alcohol n-butílico tiene densidad óptica de 1,6632 en 1,00 cm cubeta a la longitud de onda empleada).

Si bien los resultados se informaron como PC, la mayor son xantofilas (AACC, 2000).

Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado a partir de dos extracciones independientes.

2.3.3.4. Determinación del contenido mineral.

A partir de las cenizas obtenidas por calcinación de los FQ (Subsección 2.3.3.1.3), se determinó la presencia de elementos metálicos con función biológica (Ca, Fe, Zn y Mg). Las determinaciones se realizaron en el Instituto Superior de Investigación, Desarrollo y Servicios en Alimentos (ISIDSA-UNC), Córdoba, Argentina; bajo protocolo estandarizado. Se utilizó un espectrómetro de absorción atómica con quemador de llama y horno de grafito (marca *Perkin Elmer* mod. *AAAnalyst 600*).

2.3.4. Análisis estadístico.

Los resultados fueron expresados como la media \pm el desvío estándar. El análisis de datos fue realizado utilizando InfoStat® versión 2012 (Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Las diferencias entre tratamientos se estimaron mediante análisis de la varianza (ANOVA). En aquellos casos en donde se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), se utilizó a posteriori el test de comparaciones múltiples, DGC.

2.4. Resultados y Discusión.

2.4.1. Caracterización física de los frutos de quinoa (FQ).

2.4.1.1. Porcentaje de retención de frutos de quinoa durante el tamizado.

La Tabla 2.1. muestra los porcentajes de retención de los FQ en las mallas 12 y 16 (ASTM) y colector durante el acondicionamiento por tamizado. Se observó un efecto significativo del año del lote sobre la cantidad de frutos retenidos en cada malla (p -valor < 0,0001).

Los porcentajes de retención oscilaron entre 59 y 84% para la malla 12 y entre 13% y 38% para la malla 16 (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Porcentaje (%) de retención de los frutos durante el tamizado.

<i>Lote</i>	Malla 12	Malla 16	Colector
2007	79,91±2,17 c	18,13±1,82 b	1,96
2008	60,31±6,16 a	35,73±2,1 d	3,96
2009	84,19±0,72 d	13,28±0,56 a	2,53
2010	73,5±0,90 b	24,61±0,75c	1,89
2011	59,38±1,61 a	39,67±0,41 e	1,71±0,45

Medias con una letra común en la misma columna indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 2, Tabla 2.1.A y Tabla 2.1.B).

Los lotes con mayor porcentaje de retención en la malla 12 fueron: el 2009 (84%) y el 2007 (80%), a pesar de ser significativamente diferentes entre ellos. Caso opuesto ocurrió con los frutos de las cosechas 2008 y 2011, donde la retención de frutos fue del 60% y entre ellos no hubo diferencias significativas. Por último, el lote 2010, presentó un valor intermedio entre ambos grupos (73,5%).

La cantidad de frutos retenidos en cada tamiz, depende de la mayor o menor regularidad en el tamaño de estos en la muestra original, del grado de impurezas, del grado de madurez de los frutos (Nieto & Vimos, 1992) y de las dimensiones. El rendimiento en el tamizado permite tener una idea de la homogeneidad o heterogeneidad de la muestra original en relación a la distribución de tamaño de los frutos. De aquí, que los lotes 2008 y 2011 fueron los más heterogéneos, con altos porcentajes de retención en la malla 16 (entre 35% y 40%), en comparación con el resto.

El material retenido en el siego o colector, está representado por partículas con tamaños menores a 1,19 mm. Entre ellos se encuentra polvo, saponinas, semillas partidas, restos de perigonio, etc. Esta primera operación de limpieza y clasificación, produjo mermas de entre 1 y 2% respecto al material de partida, por lo que el rendimiento de la operación fue del 98-99%, coincidente con los resultados abordados por Romo *et al.* (2006).

Si bien el rendimiento absoluto del material retenido en las mallas 12 o 16 fue elevado, no estuvo conformado exclusivamente por FQ, en muchos casos, la muestra inicial contuvo gran cantidad de impurezas, principalmente palitos de tamaño variable que no fueron separados de forma eficiente en la operación por presentar tamaños similares a los frutos. Al presentar tamaños similares al de lo FQ no se separó de estos y debieron ser retirados manualmente.

La vibración por sí misma no resultó suficiente para asegurar la adecuada separación de las partículas. Como se mencionó en la introducción (Capítulo 1), es preciso que la criba describa otros movimientos para liberar partículas que podrían bloquear las aberturas, o acomodarse en el mismo sentido que se realizan las vibraciones. Una solución alternativa sería eliminar tales impurezas por diferencia de densidades, empleando flujo de aire o

ventilación, similar a la limpieza realizada en INIAP, con el “Mini Clipper” (Nieto & Vimos, 1992), o aplicando además de los movimientos vibratoriales, algún tipo de giro o rotación durante la operación (Fellows, 1994).

2.4.1.2. Tamaño y forma de los frutos de quinoa.

Meyhuay (s.f.) informó que los FQ deben ser secados hasta alcanzar humedades inferiores al 14%, ya que contenidos superiores afectan seriamente su calidad comercial, nutricional y económica.

Tabla 2.2. Medidas ortogonales, diámetro equivalente, esfericidad y humedad de los frutos de quinoa.

	2007	2008	2009	2010	2011	Rango
D_1	2,08±0,10 a	2,09±0,10 a	2,47±0,11 c	2,12±0,10 a	2,20±0,09 b	2,08-2,47
D_2	2,12±0,13 a	2,12±0,14 a	2,41±0,14 b	2,22±0,12 a	2,19±0,0 a	2,12-2,41
E	1,00±0,10 a	1,02±0,10 a	1,38±0,12 c	1,11±0,07 b	1,15±0,11 b	1,00-1,38
D_e	1,64±0,10 a	1,66±0,10 a	2,01±0,08 c	1,73±0,07 b	1,77±0,08 b	1,64-2,01
\emptyset	0,77±0,03 a	0,78±0,03 a	0,84±0,04 c	0,78±0,03 a	0,81±0,03 b	0,77-0,84
% H	10,1±0,1	11,5±0,1	7,93±0,06	10,30±0,14	8,85±0,05	8,8-11,5

Las dimensiones D_1 , D_2 , E y D_e se expresaron en mm, la esfericidad (\emptyset) es adimensional y la humedad (%H), como porcentaje.

Medias con una letra común en la misma fila indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 2, Tabla 2.2).

En la Tabla 2.2 se puede observar que el contenido de humedad de los frutos se encontró entre 8,8% y 11,5%, inferior al máximo del 12% recomendado por las ya citadas normas y por lo tanto no fue necesario acondicionarlos incluso esos valores resultaron ligeramente inferiores a los hayados por Pajarito Parker (2005) en FQ sin tratamiento.

Dentro de las mediciones ortogonales prevalecieron el largo y ancho por sobre el espesor. Hubo un efecto significativo del año del lote sobre las dimensiones (D_1 , D_2 , E), D_e y esfericidad de los frutos (p -valor < 0,0001).

Los lotes más antiguos (2007 y 2008) no mostraron diferencias significativas en el ancho, largo, espesor, diámetro equivalente y esfericidad. Estos parámetros fueron significativamente diferentes del resto presentando los menores valores (Tabla 2.2).

En el extremo opuesto, el lote 2009 mostró los resultados más altos en todos los parámetros mientras que las cosechas 2010 y 2011, presentaron valores intermedios en las dimensiones (Tabla 2.2).

Las dimensiones (D_1 , D_2 y E) de los FQ (Tabla 2.2) fueron mayores a las de amaranto proveniente de la provincia de La Pampa, cosecha 2000 (Abalone *et al.*, 2004) y semejantes en el parámetro D_2 a las de chíá, proveniente de la provincia de Salta, mientras

que las dimensiones D_1 , E y el diámetro geométrico de las semillas de chía fueron menores (Ixtaína, 2010).

Vilche *et al.* (2003) y Abalone *et al.* (2004) en sus investigaciones realizadas con quinoa y amaranto, respectivamente, informaron que existe una dependencia lineal entre el largo, espesor, diámetro equivalente y esfericidad con el contenido de humedad. Vilche, *et al.* (2003) emplearon frutos provenientes de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, cosechados en el 2001. Estos frutos, conteniendo alrededor del 10% de humedad, al igual que los estudiados en el presente trabajo, mostraron valores de longitud, espesor y diámetro equivalente menores a los presentados en la Tabla 2.2, sin embargo, la esfericidad fue igual al límite inferior del rango (0,77) (Tabla 2.2).

La esfericidad de los FQ se encontró entre 0,77 y 0,84 (Tabla 2.2). La esfericidad es el grado de aproximación de una semilla a una esfera y es una función de sus dimensiones básicas (largo, ancho y espesor). Esta característica describe la capacidad de rodamiento de una semilla durante el procesamiento (Bande (2012) en Arapa & Padrón, 2015). Un valor de esfericidad de 0,7 a 0,8 es considerado esférico para una semilla (Bande *et al.*, 2012 citado en Arapa Carcasi & Padrón Pereyra, 2015). Los valores de esfericidad obtenidos son similares a los publicados para quinoa (Miranda Villa *et al.*, 2015; Arapa Carcasi & Padrón Pereyra, 2015), amaranto (0,82) (Abalone *et al.*, 2004) y mayores a lo determinado en semillas de chía (0,64) (Ixtaína, 2010).

Arapa Carcasi & Padrón Pereyra (2015) analizaron por imágenes el largo, ancho y espesor, calcularon el diámetro equivalente y la esfericidad de dos muestras de quinoa beneficiada de Perú. Los resultados obtenidos por dichos autores se encuentran dentro de los rangos establecidos en la Tabla 2.2. La excepción, la constituyó el ancho, que fue de 2,01 mm, valor inferior al límite inferior del rango. Medina Basso & Aburra (2013) estudiaron las características morfométricas de frutos de quinoa variedad Cica por microscopía electrónica de barrido. El diámetro de los frutos se encontró dentro del rango expuesto.

Por otro lado, los FQ estudiados, presentaron diámetros menores (D_1 y D_2) a los de la variedad Sajama (2,5 mm) (Gallardo *et al.*, 1997), semejantes a los informados por Wahli (1990) para distintos cultivares de quinoa y en general mayores a los reportados por Miranda Villa *et al.* (2015) para semillas originarias de Chile (variedad Faro, Pichaman y Baer) y cultivadas en la provincia de Río Cuarto, Córdoba, con diámetros equivalentes entre 1,33 a 1,70 mm.

Como se mencionó en la introducción del Capítulo, el tamaño de los granos, el contenido de saponinas, impurezas, color, etc., son los atributos de calidad empleados para las clasificaciones de los FQ de las Normas Técnicas Peruanas (NTP), del Instituto

Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) y del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE), 2013 (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Clasificación de los frutos de quinoa según su tamaño.

Clase	Tamaño de los granos	Diámetro promedio (mm)	Lotes
<i>Especial</i>	Extra grandes	$> a 2,0$	2009
<i>Primera</i>	Grandes	$2 a 1,70$	2010, 2011
<i>Segunda</i>	Medianos	$1,70-1,40$	2007, 2008
<i>Tercera</i>	Pequeños	$< a 1,40$	-

Fuente: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, 2009; Normas Técnicas Peruanas, 2012; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013.

Los resultados obtenidos permitieron clasificar los frutos perteneciente a los lotes 2007 y 2008 son clasificados como “*granos medianos de segunda clase*”, los lotes 2010 y 2011 como “*granos grandes de primera clase*” y por último, al lote 2009 que presentó los granos de mayor tamaño, como “*granos extra grandes de clase especial*” (IBNORCA, 2009; NTP, 2012; NTE, 2013). Desde el punto de vista comercial una “buena semilla de quinoa” debe tener granos grandes de color uniforme (blanco a crema), tamaño grande y bajo contenido de sustancias amargas (saponinas, etc.), buena sanidad y alto poder germinativo (Wahli, 1990).

Además, el conocimiento de la morfología y distribución de tamaño de las semillas son esenciales para una adecuada selección de equipos de limpieza, nivelación y separación, así como para el proceso de secado (Ixtaína, 2010).

2.4.1.3. Propiedades gravimétricas de los frutos de quinoa.

El peso de 100 frutos se encontró entre 0,30 a 0,47 g (Tabla 2.4). Estos resultados son mayores a los publicados por Varriano Martson & De Francisco (1984), Jiménez de Erramouspe *et al.* (2013) y Vilche *et al.* (2003) aún con semillas que presentaron un 15% de humedad. Lo mismo ocurrió con los resultados presentados por Miranda Villa *et al.* (2015), quienes publicaron que el peso de 100 frutos osciló entre 0,21 a 0,27 g. Los mismos autores, informan a su vez, valores de densidad real y aparente, entre 0,80 a 3,24 (g/mL) y 0,54 a 0,64 (g/mL), respectivamente.

Los valores de densidad real del presente trabajo se encuentran por un lado, dentro del rango hallado por los autores citados, y por otro son mayores a los resultados publicados por Vilche *et al.* (2003), en donde los valores de densidad real de frutos con aproximadamente un 10% de humedad, fue menor (0,96) al rango establecido en la Tabla 2.4, sin embargo, los resultados de densidad aparente son ligeramente mayores para Vilche *et al.* (2003) y Jiménez de Erramouspe *et al.*, 2013 y ligeramente inferiores para Miranda Villa *et al.* (2015).

Tabla 2.4. Peso, densidad y porosidad de frutos de quinoa.

Lote	Peso de 100 FQ (g)	Densidad Aparente (g/mL)	Densidad Real (g/mL)	Porosidad (%)
2007	0,32±0,01b	0,69±0,01d	1,19±0,10 ^a	42,02
2008	0,30±0,02a	0,72±0,01c	1,24±0,11 ^a	41,94
2009	0,47±0,01d	0,68±0,01b	1,15±0,04a	40,87
2010	0,34±0,01c	0,66±0,02a	1,28±0,03a	48,44
2011	0,35±0,01c	0,66±0,01a	1,26±0,01a	47,62

Medias con una letra común en la misma columna indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 2, Tabla 2.4).






Los valores de densidad aparente, son útiles para determinar el volumen del silo para el almacenamiento de una cierta masa de granos y determinar la capacidad de los sistemas de almacenamiento y transporte (Ixtaína, 2010).

La porosidad de los FQ se encontró entre 41% y 48% (Tabla 2.4). Estos valores se asemejan a los de trigo 42%- 46%, sorgo 43%-42% y soja 41%-44% (Stroshine, 1998). En semillas de chíá los valores de porosidad son menores, entre 28% y 33% (Ixtaína, 2010) y en otras semillas de quinoa puede oscilar entre 23%-81% (Miranda Villa *et al.*, 2015; Vilche *et al.*, 2003).

Las propiedades gravimétricas son importantes para diseñar equipos relacionados con la aireación, secado, almacenamiento y transporte. La densidad aparente determina la capacidad de los sistemas de almacenamiento y transporte, mientras que la densidad real es útil para el diseño de los equipos de separación y limpieza. Además, la porosidad de la masa de las semillas está relacionada con la resistencia al aire durante la aireación y secado, la cual importa en la determinación del espesor de las capas de granos que pueden ser secados, así como en la elección del tipo de ventilador (Ixtaína, 2010).

2.4.1.4. Color de los frutos de quinoa.

Tabla 2.5. Valores L*a*b*

Lotes	L*	a*	b*	Color
2007	68,09±2,1 a	5,2±0,4 b	28,8±1,1 b	
2008	66,3±1,6 a	3,3±1,4a	24,1±1,3 a	
2009	69,5±1,9 b	4,1±0,7a	24,5±1,2 a	
2010	67,6±1,7 a	8,2±1,2c	36,1±1,2 c	
2011	71,4±2,0b	3,7±0,5 a	24,9±0,9 a	
<i>Rango</i>	66,3-71,4	3,3-8,2	24,1-36,1	-

Medias con una letra común en la misma columna indican que no son significativamente diferentes (p > 0,05) (Ver Anexo 2, Tabla 2.5).

La luminosidad de los frutos se encontró entre 66,3 y 71,4, el parámetro a* entre 3,3 y 8,2 y el b* entre 24,1 y 36,1 (Tabla 2.5). Los lotes 2007, 2008 y 2010 no mostraron diferencias significativas entre ellos, pero sí con los dos lotes restantes. La luminosidad de estos frutos, fue similar a lo encontrado por Jiménez de Erramouspe *et al.* (2013), aunque menores a los frutos de la cosecha 2011 y 2009, que resultaron ser los de mayor brillantez o claridad en su superficie. Por otro lado, valores positivos en las coordenadas a* y b* indican poca presencia del color rojo y mayor presencia del amarillo, predominantemente en las semillas del lote 2010. Los valores del parámetro b* no mostraron diferencias significativas entre los lotes 2008, 2009 y 2011 y fueron similares a los datos publicados por Jiménez de Erramouspe *et al.*, 2013.

2.4.2. Caracterización química de los frutos de quinoa.

2.4.2.1. Composición química proximal y contenido de saponinas de los frutos de quinoa.

La composición proximal de los frutos estudiados mostró variaciones significativas en el contenido de grasas, proteínas (p<0,0001) y cenizas (p-valor=0,0002). Los lotes 2007, 2008 y 2011 tuvieron los valores más altos de proteínas, además, los dos primeros también presentaron mayor contenido lipídico. A diferencia de ellos, los lotes 2011 y 2010 tuvieron bajos valores de grasas en comparación a los otros (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Composición proximal y contenido de saponinas de los frutos de quinoa (g/100 g en base seca)

g/100g	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Proteínas</i>	16,53±0,55b	17,08±0,43b	13,75±0,56 a	14,14±0,39a	16,76±0,33b
<i>Grasas</i>	9,03±0,44b	9,06±0,20 b	8,8±0,41 b	6,05±0,50a	6,52±0,35 ^a
<i>Cenizas</i>	2,65±0,58b	3,25±0,10 b	3,04±0,06 a	3,00±0,08a	3,22±0,10b
<i>H de C</i>	71,79±1,57	70,61±0,73	74,41±1,03	76,81±0,97	73,5±0,78
<i>S (g%)</i>	2,70±0,02b	2,67±0,03b	2,9±0,01*	3,00±0,02c	2,20±0,14 ^a

*S (g%): Saponinas; H d C: Hidratos de Carbono totales. **

Medias con una letra común en la misma fila indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 2, Tabla 2.6).

Los valores máximos y mínimos de macronutrientes y cenizas de los cinco lotes se encontraron dentro del rango publicado por Alandía Borda *et al.* (1979) (Tabla 1.2, Capítulo 1) y coincidentes con los de otros autores tales como Whali (1990), Chauhan *et al.* (1992), Koziol, 1992; Ruales & Nair (1992), Przybylski *et al.* (1994), Oshodi *et al.* (1999), Ogungbenle, 2003; Dini *et al.* (2005); Ligarda Samanez *et al.* (2012); Vela & Cabrera (1984), Repo Carrasco *et al.* (2010) y Pagno *et al.*, 2012.

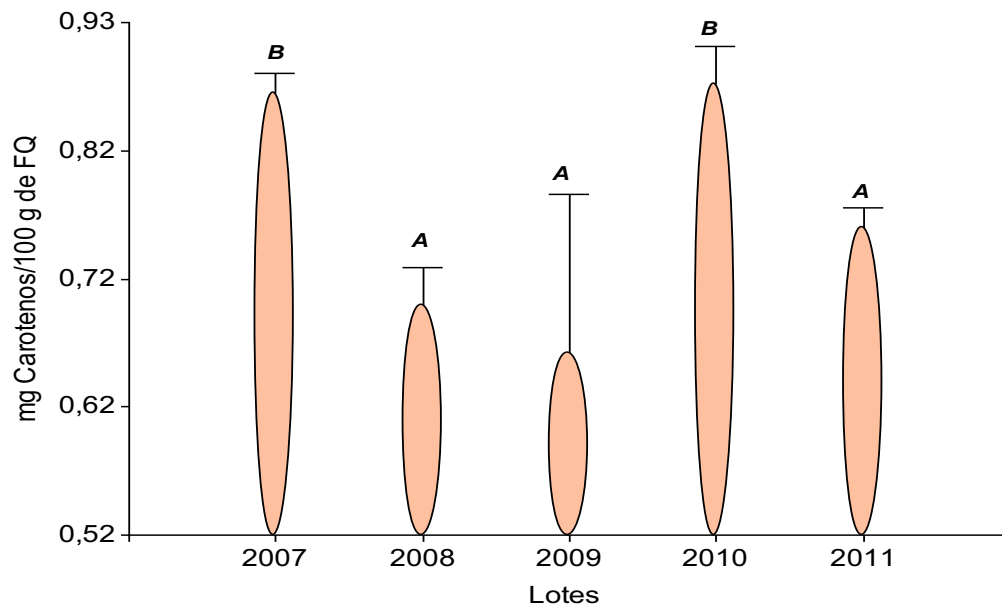
La mayoría de los trabajos citados hacen referencia a semillas desamargadas, sin considerar posibles variaciones en la composición química como consecuencia del proceso de desamargado.

El contenido de saponinas de los frutos estudiados se corresponde con la clasificación de “quinoa amarga” según el criterio establecido por IBNORCA (2009) que cataloga de esta manera a aquellos frutos que contienen saponinas entre el 1% y 3%.

Además de la clasificación propuesta por el IBNORCA (2009), los cinco lotes analizados superan el límite propuesto con relación a la percepción del sabor amargo, situado entre 0,06% y 0,12 % de saponinas en el fruto (Bacigalupo & Tapia, 1990).

El contenido de saponinas de los frutos estudiados, se encontró dentro del rango publicado por Vidueiros *et al.* (2014) (Tabla 2.6). Estos autores informaron el contenido de saponinas de 21 accesiones de quinoa provenientes del Noroeste Argentino (Salta y Jujuy), estableciendo un rango entre 0,44 y 3,20%. Estos valores son superiores a los encontrados por Jiménez de Erramouspe *et al.* (2013) para la variedad Cica (0,09%). Sin embargo, estos autores sostienen que se trataría de una variedad sometida a un proceso de fitomejoramiento y por lo tanto, no silvestre.

2.4.2.2. Contenido de pigmentos carotenoides en frutos de quinoa.



Letras iguales en los óvalos, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).
(Ver Anexo 2, Figura 2.2).

Figura 2.2. Efecto del lote sobre el contenido de pigmentos carotenoides en frutos de quinoa.

Hubo un efecto significativo del lote sobre el contenido de PC ($p < 0,0001$) (Figura 2.2). Los lotes 2008, 2009 y 2011 no mostraron diferencias significativas entre ellos, pero sí con los lotes 2007 y 2010. Estos resultados coinciden con los obtenidos a partir del análisis de color. Se sabe que el color amarillo brillante, requerido en los granos y productos de pasta, es el resultado de la presencia de pigmentos carotenoides y su mayor o menor grado de oxidación enzimática (Roncallo *et al.*, 2009).

Así, los lotes con mayor concentración de pigmentos fueron los 2007 y 2010 que a su vez presentaron los valores más altos de los parámetros a^* y b^* , señalando mayores intensidades de los colores rojo y amarillo.

2.4.2.3. Composición mineral de los frutos de quinoa.

Tabla 2.7. Composición mineral de los frutos de quinoa
(mg/kg en base seca)

	Calcio	Hierro	Zinc	Magnesio
Quinoa	579,42±2,06	30,04±0,46	16,80±0,04	1170,92±5,13
Cenizas	3,24±0,10			

Los valores de Ca, Fe, Zn y Mg presentados en la Tabla 2.7, son menores a los reportados por Ruales & Nair (1993).

2.5. Conclusiones parciales.

Los frutos de quinoa provenientes de la provincia de Salta, Argentina, cosechas 2007 y 2008 del Departamento Molinos y cosechas 2009, 2010 y 2011 del Departamento La Poma, a pesar de tratarse de la misma variedad, mostraron diferencias en los parámetros físicos y químicos, aunque se encontraron dentro de valores esperables.

El proceso de clasificación empleado tiene algunas limitaciones que pueden ser subsanadas con la incorporación de tecnología, como la separación de partículas por diferencia de densidad.

Los frutos de quinoa de todos los lotes pertenecieron a una variedad de quinoa amarga, lo que pone en evidencia la necesidad de contar con métodos eficientes de desamargado, que por un lado no modifiquen sustancialmente su calidad nutritiva y que a la vez sean eficientes y económicos.

La información aportada pretende contribuir por una lado, con información que permita caracterizar a la quinoa de origen argentino y por otro, establecer a partir de una base de datos sólida normas nacionales que regulen los requisitos de calidad física, química y bromatológica, que deben cumplir los frutos al momento de su comercialización a nivel nacional e internacional, permitiendo estandarizar la calidad de los productos y contribuyendo así al intercambio comercial.

Capítulo 3

3. Acondicionamiento de los Frutos de Quinoa (FQ). Efecto sobre algunos componentes de importancia nutricional.

3.1. Introducción al Capítulo.

En el presente capítulo se describen dos operaciones clásicas en el acondicionamiento de los frutos de quinoa: la clasificación o limpieza y el desamargado por vía húmeda.

En la clasificación por tamizado, se produce la separación física de las impurezas presentes en función del tamaño y la forma. Durante esta operación, los frutos son golpeados unos con otros y contra las paredes de las mallas. Según la intensidad con que se produzca esta operación, el tiempo y la presencia de granos parcialmente dañados podrían producirse el desprendimiento de fracciones de tamaño variable de germen con las consecuentes pérdidas de los principales componentes nutritivos que allí se alojan, que como se dijo anteriormente, corresponden a proteínas y lípidos.

Por otro lado, previo a su consumo, los frutos deben ser sometidos a un proceso de desaponificado que reduzca el sabor amargo y de esta forma se incremente la aceptabilidad por parte de los consumidores. Existen varios métodos que se fundamentan en la localización física y en la estructura química de las saponinas. Sin embargo, independientemente del método elegido, la extracción de saponinas nunca es completa (Chauhan *et al.*, 1992). El método húmedo se basa en la polaridad de las moléculas de saponinas y consiste en su solubilización con agua. El nivel final del contenido de saponinas en Semillas de Quinoa (SQ) para consumo sigue siendo una gran preocupación en términos de su amargura y posibles efectos biológicos negativos (Troisi *et al.*, 2013).

Durante este procedimiento pueden perderse nutrientes de importancia, influenciado por diferentes variables, como la temperatura, la presencia de agitación o fricción de los granos para acelerar el proceso, el tiempo, el volumen de agua empleado, etc.

El presente Capítulo se desarrolló en tres partes: En la primera se describe el efecto del tiempo de tamizado sobre el porcentaje de remoción de partículas finas en el siego del tamiz y el contenido de proteínas.

En las Partes 2 y 3, se estudió el efecto del proceso de desamargado sobre la composición proximal y mineral de las semillas de quinoa.

En la segunda parte, los frutos fueron desamargados por dos métodos húmedos diferentes: uno fue el de Flujo Continuo de Agua (FCA) y el otro, por extracción con Solución Hidroalcohólica (HA) (20% de alcohol tridestilado) y agitación; ambos fueron realizados a

diferentes tiempos y se analizó el efecto del método y tiempo de desamargado sobre el contenido de cenizas y proteínas de las SQ.

En la tercera parte, se empleó nuevamente el FCA, pero esta vez, el punto final se estableció cualitativamente y fue comparado con el desamargado con etanol (96%v/v) mediante extracción continua en Soxhlet.

A las semillas desamargadas por FCA provenientes de los cinco lotes se les determinó: la composición química proximal, el contenido de saponinas residual y la capacidad de absorción de agua. Por otro lado, a las semillas del lote 2009 desamargadas por ambos métodos se le determinó también la presencia de Ca, Fe, Zn, Mg, Pb y Cd.

3.2. Objetivos específicos del Capítulo

- Evaluar el efecto del tamizado a diferentes tiempos (10, 20 y 30 min) sobre: el porcentaje de finos retenidos en el ciego y el contenido de proteínas en los frutos de quinoa.
- Comparar el contenido de cenizas y proteínas entre: frutos, semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua durante 1, 2 y 3 h y con solución hidroalcohólica (20 % alcohol tridestilado) durante 15, 30 y 60 min.
- Determinar la composición química proximal y contenido residual de saponinas en las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua.
- Determinar el contenido de humedad y la capacidad de absorción de agua de las semillas de quinoa.
- Analizar el contenido de Ca, Fe, Zn, Mg, Pb y Cd en semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con etanol (96%v/v).

3.3. Materiales y Métodos

3.3.1. Material vegetal

El origen de los FQ empleados fue descrito en la Subsección 2.3.1, Capítulo 2.

En la Parte 1 se emplearon FQ de la cosecha 2011.

En la Parte 2, el análisis del efecto del tipo y tiempo de desamargado sobre el contenido de cenizas y proteínas de las SQ se realizó con FQ de la cosecha 2011.

Por último, en la Parte 3, el análisis proximal de las SQ, determinación de saponinas y capacidad de absorción de agua se realizó con frutos de los lotes 2007 a 2011. En la determinación del contenido mineral en SQ desamargadas con etanol se emplearon frutos cosechas 2009.

A partir de este Capítulo y hasta el Capítulo 6, se emplearon los FQ que fueron retenidos en la malla de 1,19 mm, previa homogeneización.

3.3.2. Parte 1.

3.3.2.1. Determinación del porcentaje de retención de finos en el ciego.

El porcentaje de retención de finos en el siego o colector podría emplearse como un indicador indirecto de la remoción de saponinas como consecuencia de la acción mecánica ejercida sobre los frutos durante el tamizado.

Se ensayaron tres tiempos: 10, 20 y 30 min. Las condiciones de operación se describieron en la Subsección 2.3.2.1 del Capítulo 2 y el cálculo del porcentaje de retención fue realizado mediante la ecuación 2.1. Se realizaron 6 repeticiones para cada tiempo de tamizado. Las muestras obtenidas a cada tiempo de tamizado fueron homogeneizadas a fin de determinar el contenido de proteínas de los frutos.

3.3.2.2. Determinación del contenido de proteínas en frutos de quinoa tamizados a diferentes tiempos.

Se determinó el contenido de proteínas en los FQ tamizados a los diferentes tiempos a fin de evaluar posibles pérdidas de fracciones de embrión a causa de daños mecánicos ocasionados en el tamizado. Se empleó el procedimiento de Kjeldhal, tal como se describe en el Capítulo 2, Subsección 2.3.3.1.2.

Las determinaciones se realizaron por sextuplicado en FQ sin tamizar y tamizados 10 y 20 min y por triplicado en aquellos tamizados 30 min.

3.3.3. Parte 2.

3.3.3.1. Desamargado de frutos de quinoa con solución hidroalcohólica (HA) y agitación.

A fin de comparar la pérdida de cenizas y proteínas por efecto del desamargado con solución HA y agitación, las muestras se sometieron a tres lavados independientes. La solución HA estuvo constituida por un 20% de alcohol tridestilado, los procesos duraron 15, 30 y 60 min y la relación disolvente/semilla fue de 2:1.

3.3.3.2. Desamargado de frutos de quinoa por flujo continuo de agua (FCA).

Con el objetivo de comparar la pérdida de cenizas y proteínas por efecto del desamargado con agua a diferentes tiempos, los frutos seleccionados luego del tamizado, fueron colocados en bolsas de lienzo y lavados mediante corriente ascendente de agua potable (FCA) (38,6 mL/s) a temperatura ambiente (Whali, 1990) por 1, 2 y 3 h.

3.3.3.3. Determinación del contenido proteico y de cenizas en las semillas de quinoa desamargadas.

Las proteínas se determinaron por el procedimiento de Kjeldhal y las cenizas por calcinación en mufla, tal como se describió en el Capítulo 2 (Subsecciones 2.3.3.1.2 y 2.3.3.1.3). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

3.3.4. Parte 3.

3.3.4.1. Desamargado de los frutos de quinoa con etanol mediante extracción continua con Soxhlet.

Se realizó la extracción de las saponinas mediante un equipo Soxhlet de extracción continua con etanol 96%v/v. El proceso duró 6 h.

3.3.4.2. Desamargado de los frutos de quinoa por flujo continuo de agua.

En la Parte 3 del presente Capítulo el desamargado se realizó tal como se describió en la Subsección 3.4.3.2 hasta alcanzar el punto final del proceso que fue determinado cualitativamente. Se consideró que se alcanzó este punto cuando no se formó espuma estable al agitar en un tubo de ensayo una muestra de semillas con agua destilada. Este proceso es el que tradicionalmente utilizan los campesinos y las amas de casa. Consiste en sucesivos lavados del grano con agua hasta que la espuma desaparezca (Nieto & Soria, 1990).

Luego de realizado el lavado, las semillas se pesaron para conocer el porcentaje de agua absorbida durante el proceso.

3.3.4.3. Capacidad de Absorción de Agua (CAA) de los frutos de quinoa.

Se pesaron 2,5 g de frutos, se transfirieron a una probeta de 50 mL y se añadió agua destilada hasta alcanzar el aforo. Este recipiente fue recubierto con una hoja de aluminio y se dejó reposar durante 15 h a temperatura ambiente ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$). Una vez transcurrido el tiempo, el líquido fue drenado y el agua superficial se eliminó con papel filtro. Las semillas hidratadas se separaron y pesaron. La CAA se expresó como porcentaje y se calculó como indica la ecuación 3.1:

Ecuación 3.1.
$$\%CAA = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} \times 100$$

Donde:

%AA: Porcentaje de Absorción de Agua

P_1 : Peso de los frutos antes de ser hidratados, g

P_2 : Peso de los frutos posterior a la hidratación, g.

3.3.4.4. Análisis proximal de las semillas de quinoa.

El análisis de la composición proximal de las SQ se realizó como se describe en el Capítulo 2.

3.3.4.5. Determinación del contenido de saponinas en semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua.

Se empleó el procedimiento descrito en el Capítulo 2, Subsección 2.3.3.2. Se emplearon 2 g de muestra ($\pm 0,0001$). El procedimiento de extracción se realizó por duplicado y se ejecutaron dos mediciones a partir de cada extracto.

3.3.4.6. Determinación del contenido mineral en semillas de quinoa.

Las determinaciones se realizaron del mismo modo que se describió en el Capítulo 2, Subsección 2.3.3.4.

3.3.5. Secado de las semillas de quinoa.

Se realizó en estufa con circulación forzada de aire (marca *Industrias Braff*) a 70°C hasta peso constante.

3.3.6. Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó como se describe en la Subsección 2.3.4, Capítulo 2. El Intervalo de Confianza (95%) se estableció el programa estadístico Microsoft Excel 2000.

3.4. Resultados y Discusión

3.4.1. Parte 1.

Tabla 3.1. Porcentaje de retención de finos en el ciego y contenido de proteínas en frutos de quinoa tamizados a diferentes tiempos.

Variables	Frutos sin tamizar	Tiempo (min)		
		10	20	30
<i>% de Retención ciego</i>	-	1,71±0,45 a	1,95±0,21 a	2,19±0,36 a
<i>%de Proteínas</i>	16,65±0,37 a	17,18±0,32 a	16,81±0,58 a	16,87±0,20 a

Medias con una letra común en la misma fila indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Anexo 3, Tabla 3.1 A, B y C).

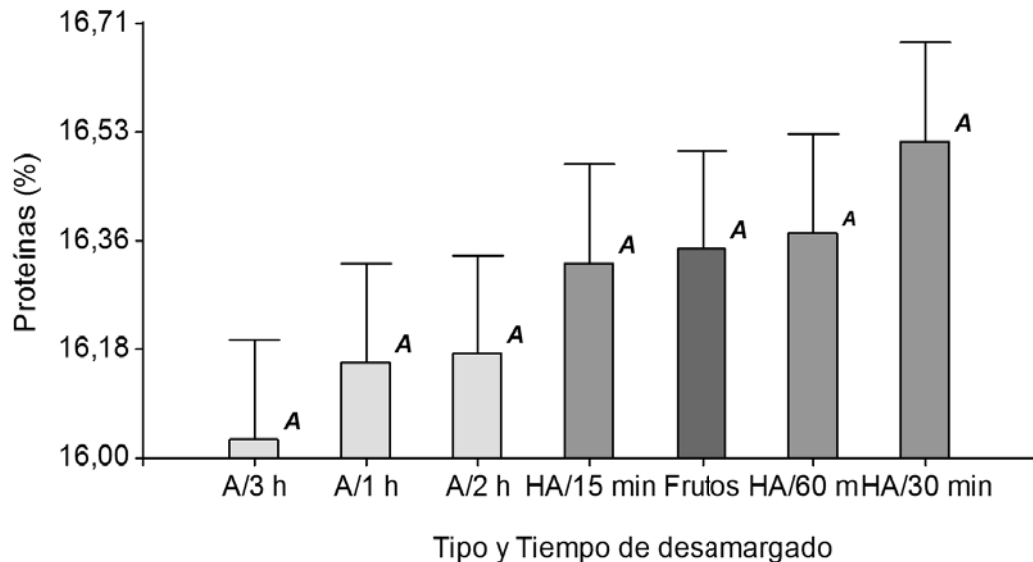
Como se presenta en la Tabla 3.1, no hubo un efecto significativo (p -valor=0,0969) del tiempo de tamizado sobre el porcentaje de retención de finos en el ciego. Este parámetro podría emplearse como indicador cualitativo indirecto de la pérdida de saponinas, entendiendo que un aumento en el porcentaje de retención de los finos equivaldría a polvo de saponinas removido por acción mecánica dada la localización anatómica de estos glucósidos.

Al igual que lo ocurrido con el porcentaje de finos en el ciego, el contenido de proteínas no fue afectado durante esta operación (p -valor=0,2042) (Tabla 3.1), manteniendo, por lo tanto, contenidos proteicos similares los frutos sin tamizar que aquellos tamizados a los tres tiempos analizados.

3.4.2. Parte 2.

3.4.2.1. Contenido de proteínas de las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con solución hidroalcohólica durante diferentes tiempos.

El desamargado de los FQ con agua o solución HA a diferentes tiempos no presentó un efecto significativo sobre el contenido de proteínas (p -valor=0,4573) de las SQ (Figura 3.1). Por lo tanto, los procesos para remover las saponinas durante el acondicionamiento, descritos anteriormente, no generaron pérdida de proteínas.



A: Lavado con Agua; HA: Lavado con solución Hidroalcohólica

Medias con una letra común en las barras indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 3, Figura 3.1).

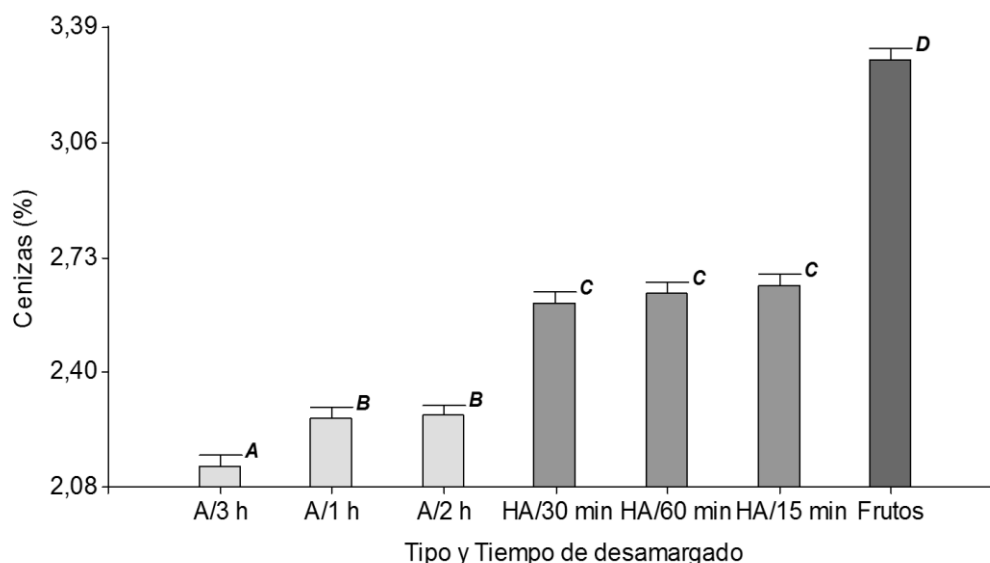
Figura 3.1. Efecto del tipo y tiempo de desamargado sobre el contenido de proteínas en semillas de quinoa.

3.4.2.2. Contenido de cenizas de las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con solución hidroalcohólica durante diferentes tiempos.

La Figura 3.2 muestra el contenido de cenizas de FQ y SQ desamargadas por FCA y con solución HA a diferentes tiempos.

Se observó un efecto significativo del tipo del tipo de solvente usado para desamargar los frutos (p -valor $< 0,0001$) sobre el contenido de cenizas de las semillas.

Los frutos tuvieron el contenido de cenizas más elevado ($3,30 \pm 0,05$), seguido por las SQ desamargadas con solución HA a diferentes tiempos y por último las semillas desamargadas por FCA. No se observaron diferencias significativas en el contenido de cenizas entre las SQ desamargadas con solución HA durante 15, 30 y 60 min (Figura 3.2) ($2,65 \pm 0,05$; $2,60 \pm 0,06$ y $2,63 \pm 0,03$, respectivamente). Sin embargo, si fueron diferentes de las semillas desamargadas por FCA; para estas últimas, el contenido de cenizas no fue diferente entre aquellas lavadas 1 y 2 h ($2,27 \pm 0,06$ y $2,28 \pm 0,01$, respectivamente), pero si entre estas y las desamargadas por 3 h, que son las semillas que presentaron el porcentaje de cenizas más bajo ($2,14 \pm 0,08$).



A: Lavado con Agua; HA: Lavado con solución Hidroalcohólica

Medias con una letra común en las barras indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 3, Figura 3.2).

Figura 3.2. Efecto del tipo y tiempo de desamargado sobre el contenido de cenizas en semillas de quinoa.

La reducción fue de 31% en las semillas lavadas 1 y 2 h y 35% en las lavadas 3 h. Mientras que en desamargado con solución HA, la reducción fue del 20%.

3.4.3. Parte 3.

3.4.3.1. Composición química-proximal de las semillas de quinoa.

La composición química proximal de las SQ desamargadas presentó variaciones significativas según el año de cosecha del lote (p -valor $< 0,0001$ para proteínas y grasas y $0,0180$ en cenizas) al igual que lo ocurrido con los frutos (Tabla 2.6, Capítulo 2).

Tabla 3.2. Composición química proximal de las semillas de quinoa.

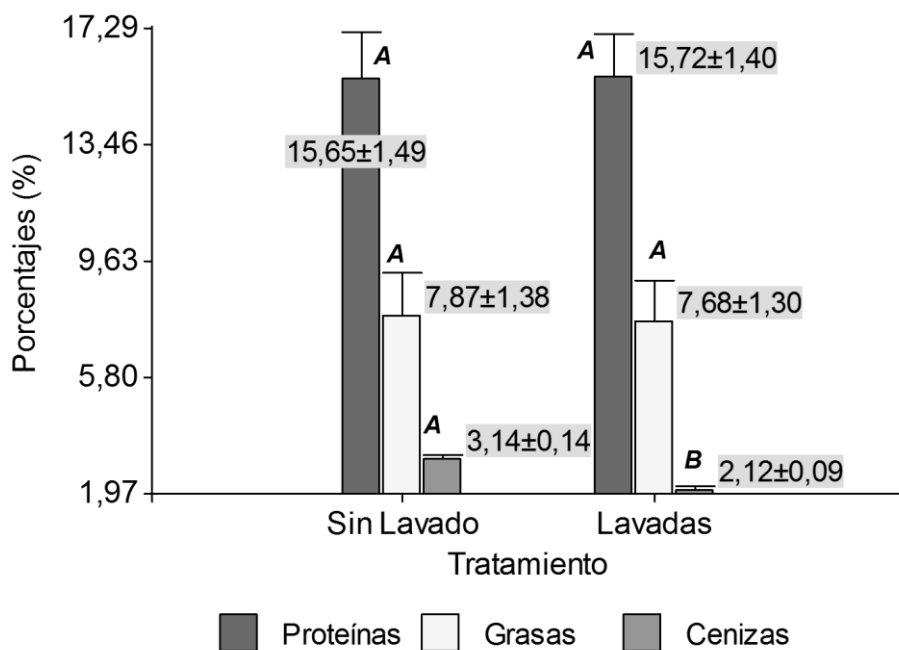
g/100g	Lote				
	2007	2008	2009	2010	2011
Proteínas	16,54±0,66 c	16,5±0,53 c	13,81±0,42 a	14,66±0,22 b	17,11±0,90 c
Grasas	9,12±,45 d	8,79±0,47 d	7,85±0,22 c	5,84±0,42 a	6,80±0,37 b
Cenizas	2,1±0,06 a	2,05±0,06 a	2,13±0,13 a	2,12±0,03 a	2,22±0,08 b
H de C	72,24±1,17	72,66±1,06	76,21±0,77	77,74±0,67	73,87±1,35

Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 3, Tabla 3.2.).

La composición proximal de las SQ se encontró dentro de los rangos publicados por Alandia Borda, *et al.* (1979), con un contenido de proteínas superior a lo publicados por Ligarda Samanez *et al.* (2012) para la variedad Salcedo INIA (12%). Estos autores encontraron valores de cenizas y grasa similares sólo a las semillas de los lotes 2010 y 2011 (6%).

3.4.3.2. Efecto del proceso de desamargado por flujo continuo de agua sobre el contenido de cenizas, proteínas y grasas de las semillas de quinoa.

Al evaluar el efecto del tratamiento (Lavado) sobre las proteínas, grasas y cenizas, se observó que, en el caso de los dos primeros, el efecto no fue significativo (p -valores=0,6896 y 0,6699, respectivamente), sin embargo, si afectó el contenido de cenizas (p -valor<0,0001). Estos resultados son coincidentes con los publicados por Ruales & Nair (1992 y 1993), aunque estos autores aplicaron un método combinado para remover las saponinas, que implicó una breve exposición al agua. Ellos encontraron que la reducción en el contenido de cenizas fue del 17%, inferior a lo hallado en el trabajo, con porcentajes de pérdidas del 20, 24, 26, 31 y 37% para los lotes 2007, 2009, 2010, 2011 y 2008, respectivamente. Vela & Cabrera (1984) informaron una mayor merma en el contenido de cenizas (42%-46%) cuando aplicaron un método húmedo combinado con un despulpador, y a mayor temperatura; estas dos variables podrían haber sido las responsables de las mayores pérdidas.



Letras idénticas entre las barras correspondientes a proteínas, grasas o cenizas, indican que no existen diferencias significativas entre las medias ($> 0,05$) (Ver Anexo 3, Figura 3.3)

Figura 3.3. Efecto del proceso de desamargado de los frutos de quinoa por flujo continuo de agua sobre el contenido de lípidos, cenizas y grasas de las semillas.

Por otro lado, el patrón de aminoácidos, el perfil de ácidos grasos, el valor biológico (BV, *biologic value*), la utilización proteica neta (NPU, *net protein utilization*) y digestibilidad verdadera (TD, *true digestibility*) de la proteína de quinoa lavada no serían afectadas por el proceso de desamargado (Ruales & Nair, 1992, 1993).

Telleria *et al.* (1978) citado por Ruales & Nair (1992) afirman que la calidad de la proteína de cuatro variedades de quinoa no fue afectada durante el desamargado de los frutos, mediante lavados con agua a 50°, 70° y 87°C.

Por último, Vela & Cabrera (1984) informaron que el lavado también produce reducciones en el contenido de fibra entre 8 y 14%. A diferencia de esto, Ruales & Nair (1994) no encontraron diferencias en el contenido de fibra dietética entre quinoa sin lavar y quinoa lavada.

3.4.3.3. Capacidad de absorción de agua (CAA) de las semillas de quinoa.

Luego de someter a los frutos al proceso desamargado por FCA, hasta alcanzar el punto final del proceso, no se observaron diferencias significativas entre los lotes de SQ (p-valor=0,0388) para los valores de CAA y humedad (p-valor=0,3424) (Ver Anexos 3, Tabla 3.3.A y Tabla 3.3.C, respectivamente).

Tabla 3.3. Capacidad de absorción de agua de las semillas de quinoa y contenido de humedad después del proceso de desamargado por flujo continuo de agua.

Lote	2007	2008	2009	2010	2011
CAA	124±10,74 a	116,80±6,84 a	99,73±3,1 a	103,07±10,41 a	110,67±10,06 a
IC (95%)	104,89-116,82				
% H	43,93±1,27a	44,57±1,46 a	43,80±1,65 ^a	44,06±1,53 a	43,10±1,42 a

CAA: Capacidad de Absorción de Agua (%). Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,01$). IC: Intervalo de Confianza. %H Porcentaje de Humedad. Medias con misma letra en la fila de H% no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A partir de los resultados del porcentaje de CAA de las semillas de todos los lotes, se establecieron IC (95%) (Ver Anexo 3, Tabla 3.3.B).

Las SQ presentaron una gran CAA, entre 104,89-116,82% en las condiciones de ensayo y un elevado contenido de humedad, alrededor del 40% al concluir el proceso de desamargado, hecho vinculado estrechamente a la CAA. Esta característica está relacionada con el tamaño de las semillas, dureza y permeabilidad de las membranas (López Bellido, 1996), por lo tanto, los resultados abordados inducen a pensar que las SQ, además de su pequeño tamaño, poseen una gran permeabilidad y, por lo tanto una rápida velocidad de absorción de agua y corto tiempo de cocción.

3.4.3.4. Contenido de minerales en semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua y con etanol (96% v/v).

En la Tabla 3.4, se ven reflejados los resultados obtenidos en cuanto a Ca, Fe, Zn, Mg y metales pesados (Pb y Cd) de las semillas desamargadas. De los nutrientes determinados, el cuantitativamente más importante es el Mg, al igual que para los frutos (Tabla 2.7).

La Tabla 2.7 (Capítulo 2) informa el contenido de cenizas de los frutos ($3,24 \pm 0,10\%$) de la cosecha 2009 que se emplearon en la determinación de los minerales.

Tabla 3.4. Contenido de Ca, Fe, Zn, Mg, Pb y Cd en frutos y semillas de quinoa desaponificadas por flujo continuo de agua y con etanol (96%v/v).

mg/kg	FQ	Semillas desaponificadas con agua	% de pérdida en semillas lavadas con agua Ω	Semillas desaponificadas con etanol	% de incremento en semillas desamargadas con etanol Ω
Ca	579,42 \pm 2,06	503,13 \pm 3,40	13	543,16 \pm 0,64	6
Fe	30,04 \pm 0,46	18,16 \pm 0,03	40	34,09 \pm 0,36	12
Zn	16,80 \pm 0,04	10,67 \pm 0,07	36	18,95 \pm 0,27	11
Mg	1170,92 \pm 5,13	787,05 \pm 6,93	33	1459,07 \pm 0,28	20
Pb	s/d	0,08 \pm 0,01	-	s/d	-
Cd	s/d	0,01 \pm 0,00	-	s/d	-
% C	3,24 \pm 0,10	2,20 \pm 0,10	-	2,63 \pm 0,05	-

% C: Porcentaje de cenizas. Ω Los cálculos se realizaron considerando el contenido inicial de minerales en los frutos (Tabla 2.7, Capítulo 2).

Medias con una letra común en la fila de cenizas indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

El ANAVA junto con el test de comparaciones múltiples DGC (0,05%) permitieron determinar que existen diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el contenido de cenizas entre frutos, SQ desamargadas por FCA y semillas desamargadas con etanol, al igual que lo encontrado en el lote 2011 (Figura 3.2). Como se presentó en la Figura 3.2 y Tabla 3.4, independientemente lote y el método de desamargado empleado, se producen pérdidas de componentes minerales, tal como lo señala el contenido de cenizas.

En las SQ desaponificadas con etanol, sólo se redujo el contenido de Ca, esto podría deberse a la interacción del etanol con este catión, sin embargo, se observó un incremento aparente en el contenido de Mg, Fe y Zn, a pesar de que el contenido de cenizas se redujo.

El lavado de los FQ produce reducciones indeseables en el contenido de minerales. Esta disminución probablemente se deba a la solubilización de los mismos en el agua de remojo (Colina & Guerra, 2009).

La magnitud de tal reducción no fue igual en todos los casos. La mayor merma fue para el Fe (40%) seguido por Zn y Mg con el 36% y 33 % de pérdidas, respectivamente. El Ca mostró una reducción sustancialmente menor que los otros minerales (13%). Las pérdidas de Ca fueron menores a las informadas por Koziol (1990) y Ruales & Nair (1993) (29% y 28% respectivamente); mientras que para Fe Koziol (1990) informó una reducción del 52%, pero Ruales & Nair (1993) y Jancurová *et al.* (2009) encontraron un 28% de merma.

Los patrones de retención de algunos minerales son el resultado de diferentes factores, como la localización del mineral en el grano, su solubilización durante el remojo y la cocción y a diferentes velocidades de migración del electrolito, desde su ubicación dentro de la semilla y hacia el seno del líquido de lavado (Heinemann *et al.* (2005) en Colina & Guerra, 2009).

Los valores de minerales presentados en la Tabla 3.4, son menores a los reportados por Ruales & Nair (1993) en frutos pulidos y lavados (semillas), Dini *et al.* (2005) para la variedad Kancolla, Jimenez de Erramuspe *et al.* (2013) para la variedad CICA; Repo Carrasco *et al.* (2003) y Koziol (1992). Sin embargo, Nascimento *et al.* (2014) halló valores similares en quinoa cosechada en la provincia de Jujuy, a excepción del contenido de Ca. Torrez *et al.* (2002) analizó diez variedades de quinoa de origen boliviano, encontrando valores un 50% menores a los expuestos en la Tabla 3.4, tanto para frutos, como para frutos desamargados (semillas). A su vez, el contenido de Ca fue similar a lo publicado por Chaparro *et al.* (2011), aunque inferior en el contenido de hierro.

Estos autores también verificaron una merma en el contenido de Fe, aunque el tiempo de lavado empleado fue considerablemente inferior. También fueron menores los valores para Zn y Mg. En ese mismo trabajo no se observó una tendencia homogénea en la pérdida de minerales por el tratamiento de desamargado, algo que sí se comprobó en el presente trabajo.

Los valores hallados de Pb y Cd, son extremadamente bajos. Las concentraciones informadas en (Tabla 3.4), son inferiores a las publicadas por Ruales & Nair (1993). El contenido de Pb, se encontró por debajo del máximo permitido por el Código Alimentario Argentino (0,20 mg/kg) para cereales y subproductos, lo mismo ocurrió con el Cd (Cereales y productos de y a base de cereales, excluidos trigo, arroz y sus productos derivados y aceite: 0,10 mg/kg; Trigo y sus productos derivados y aceite: 0,20 mg/kg y Arroz y sus productos derivados y aceite: 0,40 mg/kg) (CAA, Capítulo III). Si bien la bibliografía posiciona a la quinoa como una buena fuente de minerales (Tabla 1.8, Capítulo 1), superior a cereales como el trigo, arroz, avena, cebada y el centeno, en particular para Ca, Mg, Fe, Cu y Zn, el presente estudio parece contradecir tales observaciones, donde la quinoa desamargada no sobresalió respecto de los cereales tradicionales (Tabla 3.4), a excepción

del contenido de Ca en comparación con el arroz (Capítulo 1, Tabla 1.8), presentando incluso una menor concentración de Fe, Zn y Mg (Tabla 3.3). Aquí es interesante resaltar que más allá de la mayor o menor concentración de minerales, la biodisponibilidad de los mismos es lo mismo es la que determina el aprovechamiento biológico. En este sentido es sabido que la biodisponibilidad de los minerales varía ampliamente entre ellos. Algunos son fácilmente absorbidos, mientras que otros se pueden combinar con otros compuestos presentes en el alimento o en la preparación, formando compuestos no digeribles o insolubles que son menos eficientemente absorbidos en intestino.

3.4.3.5. Contenido de saponinas en las semillas de quinoa desamargadas por flujo continuo de agua.

El sabor de la quinoa es amargo si no se ha lavado y eliminado correctamente la saponina. Este hecho se toma a menudo como pretexto para no consumirla. Sin embargo, no se trata de lavar o escarificar los granos hasta que queden mutilados en su estructura, sin valor nutritivo por pérdida del germen y sin sabor. Lo deseable es que se encuentre el punto ideal de desamargado, que preserve los nutrientes, el amargor no resulte desagradable, pero que a la vez permita apreciar el sabor propio de la quinoa recién cocida. Las saponinas, al afectar intensamente el sabor de las semillas, limita ampliamente su consumo, por lo tanto, el desamargado de los granos representa una etapa crítica del procesado.

Tabla 3.5. Contenido de saponinas en semillas de quinoa.

Semillas	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
B.S	0,21±0,04 b	0,18±0,01 a	0,20±0,01 b	0,23±0,01 b	0,15±0,04 a
B.H	0,19±0,04 b	0,16±0,00 a	0,18±0,01 b	0,21±0,01 b	0,14±0,04 a
IC (95%)	0,16 -0,19				

B.S: Base Seca; B.H: base húmeda. IC: Intervalo de Confianza. Medias con una letra común en la fila de cenizas indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 3, Tabla 3.5).

La Tabla 3.5 muestra el contenido de saponinas residual, luego del lavado de los frutos. En la Figura 3.4. se puede apreciar la significativa reducción en el contenido de estos terpenoides, por obra del proceso de desamargado, en todos los lotes ($p < 0,0001$) (Ver Anexo 3, Figura 3.4).

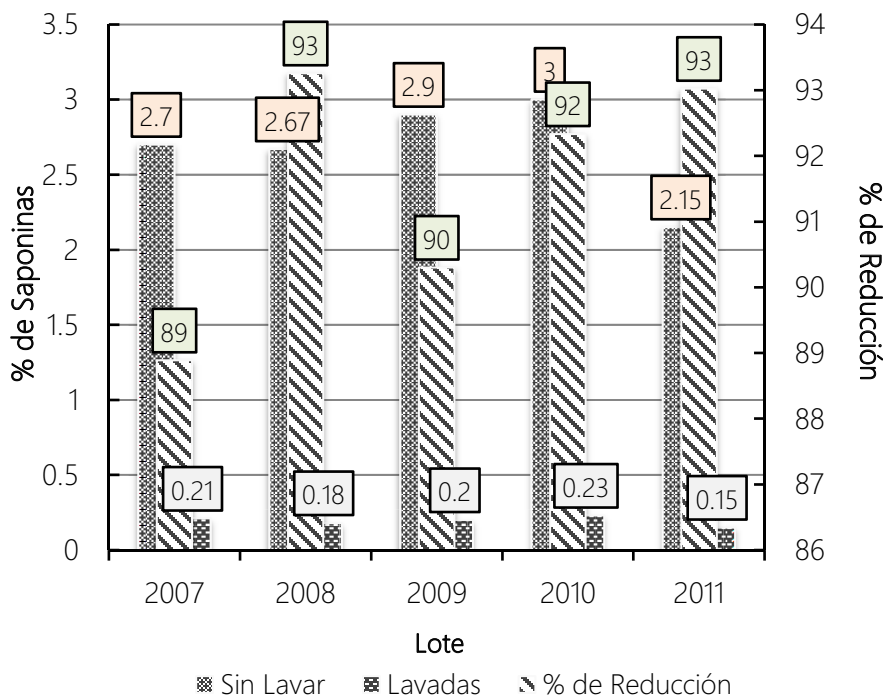


Figura 3.4. Efecto del desamargado por flujo continuo de agua sobre el contenido de saponinas de las semillas de quinoa.

A pesar de esto, la cantidad de saponinas que permanecieron en las semillas luego de someterlas a las condiciones de desamargado descritas (Tabla 3.5), fue superior al límite máximo permitido (0,11% en base húmeda). Las SQ lavadas, se encontraron dentro de la categoría “contenido medio de saponinas”(0,1-1%) (IBNORCA, 2009) ya que las saponinas residuales oscilaron entre 0,15% y 0,23%.

El contenido de saponinas remanente fue menor a lo informado por Chauhan *et al.* (1999), quienes publicaron que, si bien el lavado es más eficiente que el escarificado para remover las saponinas, aún después de desamargar los frutos por vía húmeda quedan restos de saponinas (0,35%).

El límite máximo para contenido de saponinas se ha establecido en relación a la percepción del sabor. Koziol (1991) realizó una prueba sensorial con panelistas entrenados para detectar el sabor amargo de la quinoa en mezclas de harina y agua conteniendo diferentes concentraciones de saponinas. La concentración máxima de saponinas que estuvieron presentes en la mezcla sin ser percibidas por los catadores fue 0,11%. Sin embargo, debido a que las saponinas poseen diferentes estructuras, pueden presentar sensaciones diferentes de amargor y toxicidad según el tipo de saponinas presente. Así por ejemplo, los niveles de saponinas en alimentos pueden variar de 0,02 al 5% (Whali, 1990).

Las diferencias encontradas en el contenido de saponinas de las SQ podrían deberse a que los frutos poseen diferentes tipos de saponinas o proporciones de ellas. Así,

Ruales & Nair (1993), comprobaron diferentes solubilidades entre dos tipos de saponinas hallados luego de someter a los frutos al proceso de desamargado. Así, las saponinas tipo A (Figura 1.10) reducen su concentración un 56%, mientras que la tipo B no se pudieron detectar después del procesado (<50 ng/100g).

El método de desamargado desarrollado en la *Parte 3* del trabajo, removi6 entre 89% a 93% el contenido de saponinas. Si bien supera los resultados encontrados por Corzo Barrag6n (2009) (68%), las condiciones de proceso fueron distintas (30 min, con agitaci6n y empleando una relaci6n frutos: agua (1:3).

Con respecto al efecto de las saponinas sobre digestibilidad proteica, Ruales & Nair (1992) no encontraron efecto negativo, al menos en los niveles presentes en las dietas de los animales de experimentaci6n.

3.5. Conclusiones parciales.

La etapa de acondicionamiento de los frutos que incluye el tamizado y desamargado, constituye un eslab6n clave en la cadena de la quinoa, para aumentar su valor comercial.

Desde el punto de vista nutricional, el contenido de prote6nas permanece invariable luego de tamizar los frutos a los diferentes tiempos, lo mismo sucede con la cantidad de material fino recolectado en el siego.

El desamargado de los frutos de quinoa por flujo continuo de agua, alcohol o soluci6n hidroalcoh6lica, redujo el contenido de cenizas de las semillas, aunque en diferentes proporciones. Las mayores p6rdidas se produjeron durante los lavados con agua, y dentro de estos, aquellos que consistieron en 3 h de lavado m6s que los de 1 y 2 h. El contenido de prote6nas no experiment6 variaciones significativas durante el desamargado, tanto con agua como con soluci6n hidroalcoh6lica y a los diferentes tiempos de ensayo. El an6lisis estadístico del efecto del tratamiento (lavado por flujo continuo de agua en las condiciones descritas para la *Parte 3*) corrobor6 los resultados alcanzados en la *Parte 2* del trabajo respecto de la p6rdida de cenizas durante los lavados, no as6 de prote6nas y adem6s revel6 que tampoco se producen modificaciones en el contenido de l6pidos.

Los elementos minerales analizados redujeron su concentraci6n en diferentes proporciones, siendo mayor para Fe que para Ca. La cantidad de Pb y Cd presente en las semillas se encontr6 dentro de l6mites permitidos por el C6digo Alimentario Argentino.

El contenido de los minerales analizados fue notablemente inferior en las SQ que en otros cereales. Sin embargo, es importante se6alar adem6s que m6s all6 de la mayor o menor concentraci6n que presente, es necesario considerar la biodisponibilidad de los mismos a la hora de valorar la calidad nutricional.

El lavado de los frutos de quinoa hasta alcanzar el punto final, determinado cualitativamente redujo entre un 89% y un 93% el contenido de saponinas de las semillas,

sin embargo, la concentración residual supera el límite máximo permitido (0,11%) para considerar a la quinoa como dulce. Como se mencionó con anterioridad, este máximo no constituye un riesgo para la salud del consumidor, sino más bien se relaciona con el límite de percepción del sabor amargo.

Capítulo 4

4. Proceso de obtención de semillas precocidas (SP). Efecto sobre algunos componentes de importancia nutricional.

4.1. Introducción al Capítulo.

Una vez que los frutos fueron sometidos a los procesos de clasificación y limpieza mecánica (Capítulo 2) y desprovistos de impurezas y saponinas (Capítulo 3), deben ser secados hasta alcanzar una humedad adecuada que permita someter las semillas al proceso de molienda, resultando así una harina cruda (HC). A diferencia de esta, para la harina precocida (HP) se requiere un paso intermedio entre el proceso de desamargado (Lavado) y el secado, la precocción. El objetivo de esta operación es transformar el almidón nativo en almidón pregelatinizado, de modo que luego de secadas las semillas y obtenida la harina esta se disperse fácilmente en agua, dando un producto de reconstitución instantánea.

Entre los subproductos de la quinoa, las harinas de reconstitución instantánea revisten un rol destacable ya que a partir de ellas es posible elaborar alimentos para infantes, sopas o bebidas que permitan satisfacer determinadas necesidades sociales relacionadas con el escaso tiempo disponible para la elaboración de los alimentos en el hogar. Estas harinas permitirían obtener alimentos nutritivos de rápida y fácil preparación que pueden ser consumidos en cualquier momento del día y en cualquier lugar.

Desde el punto de vista nutricional, el principal beneficio del tratamiento térmico es la mejora de la digestibilidad de los alimentos mediante la transformación de las estructuras altamente organizada de los componentes del grano, como son el almidón y las proteínas, lo que generalmente conduce a que puedan ser mejores sustratos para las enzimas digestivas del tracto gastrointestinal (Henry & Chapman, 2002). Además, la mejora en la digestibilidad de las proteínas se ve favorecida por la inactivación de factores antinutricionales de naturaleza proteica (termolábiles) como son los inhibidores de tripsina o quimiotripsina (Badui Dergal, 2006). Sin embargo, hay que considerar que la disponibilidad de los aminoácidos varía con la fuente de proteína, el método de procesamiento, y la interacción con otros componentes de la dieta. Sin embargo, además de los beneficios mencionados, durante la cocción se producen pérdidas de componentes nutritivos, que afectan el valor nutricional de los alimentos. La mayor o menor pérdida dependerá entre otras cosas del método de cocción empleado, el tiempo y la receta aplicada (Henry & Chapman, 2002).

La composición química de un alimento en su estado original puede verse notablemente afectada como consecuencia de la aplicación de diversos procesos tecnológicos en el transcurso de la denominada cadena alimentaria, ya sea durante la

producción, elaboración, transformación y almacenamiento, o bien durante la preparación y utilización final del alimento.

La quinoa debe ser procesada antes de su consumo; la pérdida de sustancias nutritivas será entonces consecuencia de la metodología empleada. Según sean las condiciones bajo las que se realice el proceso de cocción, se tendrá una mayor o menor facilidad para la difusión de sustancias hidrosolubles desde el alimento hacia el medio que le rodea y viceversa.

En el presente trabajo, se optó por aplicar el método vapor-presión (Garda, 2009; Mudambi *et al.*, 2006), con el objetivo de contrarrestar el efecto de disolución de nutrientes ocasionado por la inmersión. Además, al utilizar presión los tiempos de cocción se reducen, lográndose una menor exposición del alimento a las condiciones de cocción con el consecuente ahorro de tiempo y energía (Caracuel García, 2008).

El presente Capítulo de desarrolló en cuatro partes:

La primera parte incluyó:

- La determinación del Tiempo de Cocción (TC) de SQ Precocidas (SP) mediante Vapor-Presión (VP) mediante ensayos cualitativos de dispersabilidad y la comparación de las pérdidas de Sólidos Totales (ST) según los TC ensayados;

Las cocciones de las SQ mencionadas se realizaron para obtener a partir de estas Harinas Precocidas (HP) de reconstitución instantánea.

- El establecimiento de la curva de cocción con VP durante el TC establecido.
- A fin de resaltar las ventajas del método elegido en cuanto a las pérdidas nutricionales (ST y proteínas), se realizó la comparación con tres MC tradicionales; Hervido (H), Hervido a Presión (HP) y Vapor (V) al tiempo establecido.

Segunda parte: Una vez fijado el tiempo mínimo requerido para alcanzar el resultado deseado (Parte 1), se diseñó otro ensayo de características similares, al que se le incorporaron como variables, además del MC, el volumen de agua (mL) y se ensayaron otros TC.

Tercera parte: La determinación del contenido de proteínas en SP, semillas secadas luego del desamargado por FCA y luego de la cocción con VP durante 10-11 min. Se determinó además el contenido de Ca, Fe, Zn y Mg en SP.

Por último, en la cuarta parte se incluyó:

- El análisis nutricional de las Aguas de Cocción (AC) de SQ de los lotes 2007 a 2011, precocidas con VP a 10 -11 min.
- El análisis químico proximal de las SP de quinoa.

- El análisis del efecto del tratamiento de precocción (VP: 10-11 min) sobre el contenido de grasas, cenizas y proteínas de las SQ.

4.2. Objetivos específicos del capítulo.

- Determinar el tiempo de cocción de las semillas de quinoa empleando el método de cocción: vapor-presión para obtener harina precocida de reconstitución instantánea.
- Establecer las temperaturas de cocción al tiempo de cocción determinado de las semillas de quinoa.
- Comparar la pérdida de sólidos totales y proteínas empleando como métodos de cocción: hervido, hervido a presión, vapor y vapor-presión al tiempo de cocción establecido.
- Determinar el porcentaje de semillas cocidas, capacidad de absorción de agua y humedad de las semillas de quinoa sometidas a diferentes tiempos y métodos de cocción.
- Analizar el efecto del volumen de agua, tiempo de cocción, método de cocción y sus interacciones sobre la pérdida de tocoferoles totales, proteínas y sólidos.
- Determinar el contenido de Ca, Fe, Zn y Mg en semillas precocidas de quinoa.
- Determinar la composición química proximal de las semillas precocidas de quinoa por vapor-presión durante 10-11 min.
- Conocer la pérdida de sólidos totales, proteínas, azúcares reductores libres, glucosa y minerales en las aguas de cocción por vapor-presión (10-11 min) de semillas de quinoa pertenecientes a los cinco lotes analizados.
- Establecer el efecto del tratamiento de precocción (vapor-presión:10-11 min) sobre el contenido de grasas, proteínas y cenizas de las semillas de quinoa.

4.3. Materiales y Métodos

4.3.1. Material vegetal

El origen de los FQ empleados fue descrito en la Subsección 2.3.1, Capítulo 2.

Parte 1: Se emplearon FQ de las cosechas 2009 y 2010.

Parte 2: Se emplearon FQ de la cosecha 2011.

Parte 3: Se emplearon FQ de la cosecha 2010 y en la determinación de la composición mineral se emplearon frutos de la cosecha 2009.

Parte 4: Por último, se emplearon FQ de todos los lotes (2007 a 2011), para realizar las cocciones con VP durante 10-11 min, las AC fueron recuperadas y a partir de ellas se analizaron: proteínas, minerales, ST, ARL y glucosa. Las SP obtenidas fueron empleadas para determinar la composición química proximal.

4.3.2. Parte 1.

4.3.2.1. Determinación del tiempo de cocción (TC) de las semillas de quinoa.

Se introdujeron 750 mL de agua potable en una olla a presión (Marmicoc) junto con una vaporiera metálica. Sobre esta se depositó una bolsa de lienzo conteniendo 300 g de SQ. La cocción se realizó sobre anafe industrial de dos hornallas (*F.J. Calabro*) a dos tiempos: 5-6 min y 10-11min. Una vez alcanzados los respectivos TC, la marmita fue enfriada por inmersión parcial en un baño a 8°C (*Power Ice CHT-150*). Las AC fueron filtradas y una vez enfriadas, se llevaron a un volumen conocido con agua destilada.

Se realizaron tres cocciones independientes a cada intervalo de tiempo.

4.3.2.2. Ensayos de dispersabilidad de las harinas precocidas (HP) de quinoa.

Para la selección entre uno u otro intervalo de TC se realizaron ensayos cualitativos de dispersabilidad. Las SP tal como se describió en 4.3.2.1, fueron secadas en un horno a gas con circulación forzada (marca *Industrias Braff*), a 80±5°C. Las bandejas que contuvieron las SQ fueron pesadas a intervalos regulares hasta obtener un peso constante y molidas en molino de martillo (marca *Fritsch*) empleando una criba de 0,25 mm. Se realizaron dispersiones Harina/Agua (70°C) al 25%, se agitó y se observó: la formación de grumos, la facilidad para disgregarlos y la facilidad para dispersar la mezcla.

4.3.2.3. Determinación de los sólidos totales (ST) en las aguas de cocción (AC) de las semillas de quinoa.

Durante la cocción de las semillas se produce pasaje de componentes hidrosolubles al medio de cocción debido a la acción del vapor de agua sobre el alimento. Estos compuestos hidrosolubles, configuran lo que se llama ST y están representados por aminoácidos, péptidos pequeños, azúcares de bajo peso molecular, minerales, pigmentos, etc. Las pérdidas por disolución dependen de diversos factores como son: tiempo, tamaño del alimento, volumen de agua utilizada, etc. (Astiasarán & Martínez, 2000).

En esta parte del trabajo los ST fueron determinados para comparar la pérdida generada a los dos intervalos de TC ensayados (5-6 y 10-11 min). Una vez fijado, se realizó la determinación de los ST para comparar la pérdida con otros MC.

La determinación de los ST en las AC se realizó por el método de la estufa de aire (Osborne & Voogt, 1986). Para las determinaciones se emplearon 20 g de muestra, que fueron secadas en estufa de convección de aire (*Dalvo, 4R/I, Argentina*) a 105°C.

Los valores de ST fueron calculados aplicando ecuación 4.1 que se presenta a continuación:

Ecuación 4.1.
$$\%ST = \frac{(P_2 - P_1)}{P_m} \times 100$$

Donde:

$\%ST$: Porcentaje de sólidos totales

P_2 : Peso del crisol con los sólidos, g

P_1 : Peso del crisol vacío y seco, g

P_m : Peso de la muestra, g

Los ensayos se realizaron por triplicado en cada una de las tres AC recuperadas en 4.3.2.1.

4.3.2.4. Curva de cocción mediante vapor presión (VP) de las semillas de quinoa.

Para establecer la temperatura de cocción durante el TC determinado en 4.3.2.1, se siguió el procedimiento de cocción descrito y se colocaron dos termosondas, una sobre las semillas y otra del lado externo de la tapa del recipiente de cocción. Los sensores de temperatura estaban conectados a un equipo Datalogger computer (*Xplorer GLX Pasco*) y se registraron ambas temperaturas. Las cocciones se realizaron por triplicado.

4.3.2.4.1. Estimación teórica de la temperatura interna de la marmita.

Se realizó pesando la válvula de la olla (precisión de $\pm 0,01$ g) y midiendo con Vernier, el diámetro interno del orificio de salida de la válvula (precisión 10^{-5} m). La presión nominal se calculó como:

$$P = \left[p(\text{kg}) / \frac{d^2(\text{cm}^2)}{4} \right] \cdot 1,03$$

Ecuación 4.2.

Donde P es la presión en kgf/cm^2 , p es el peso de la válvula en kg y d^2 el cuadrado del diámetro interno, en cm^2 . La temperatura interna se estableció a partir de las tablas de presión de vapor vs. temperatura (Weast, 1978).

4.3.2.5. Procedimientos de cocción de las semillas de quinoa.

Las cocciones se realizaron por duplicado, empleando en cada caso 100 g de SQ ($\pm 0,01$ g) y 500 mL de agua. El TC establecido fue de 10-11 min. Una vez alcanzado el tiempo, las semillas se colaron a través de una malla metálica, el AC se recuperó, se dejó enfriar, se filtró y se enrasó en un matraz a 500 mL.

Hervido a presión atmosférica normal (H): se colocó el agua a hervir hasta su punto de ebullición, momento en el cual se introdujeron las SQ y se cocinaron durante el tiempo establecido.

Hervido a presión (HP): las SQ se introdujeron junto al volumen de agua determinado, se cerró la marmita y se inició la cocción hasta alcanzar el tiempo establecido, posteriormente la marmita fue enfriada en un baño a 8°C (*Power Ice CHT-150*) para hacer descender rápidamente la temperatura y permitir la apertura de la olla.

Vapor (V): se colocó en una olla el volumen de agua fijado y se inició el calentamiento. Una vez que alcanzó el punto de ebullición, se introdujo la vaporiera con un lienzo sobre el cual se coloraron las semillas y se inició la cocción por el tiempo establecido.

4.3.2.6. Comparación de pérdidas nutricionales según el método de cocción de las semillas de quinoa.

4.3.2.6.1. Determinación de proteínas y sólidos en las aguas de cocción.

Las proteínas en el agua de cocción se determinaron por el procedimiento de Kjeldhal descrito en Capítulo 2, Subsección 2.3.3.1.2 y se emplearon en cada determinación $5 \pm 0,0001$ g de solución.

Los ST se determinaron como se describe en la subsección 4.3.2.3.

4.3.3. Parte 2.

En esta parte del trabajo se realizó un diseño experimental factorial completo, en el que las variables intervinientes fueron: MC: H, HP, V y VP, Volumen de agua (400 y 500 mL) y TC (10, 15 y 20 min).

4.3.3.1. Procedimientos de cocción aplicados a semillas de quinoa.

Las cocciones se realizaron a partir de $50 \pm 0,01$ g de SQ, se cocieron con 400 o 500 mL de agua corriente, durante 10, 15 y 20 min. Las cocciones se realizaron por duplicado obteniéndose 12 ensayos por cada método, lo que dio un total de 48.

Los procedimientos de cocción fueron idénticos a los descritos en la Parte 1. Al finalizar estas cocciones y luego de colar las semillas a través de una malla metálica, se dejaron allí durante 10 min para quitar el exceso de agua y determinar la CAA (%) de las semillas durante las cocciones bajo diferentes condiciones.

4.3.3.2. Determinación de proteínas y sólidos en las aguas de cocción de semillas de quinoa.

Las proteínas en las AC se cuantificaron espectrofotométricamente por el método de Bradford modificado (Bradford, 1979).

Curva de calibración: Para cuantificar la cantidad de proteína presente en las AC se preparó una curva de calibración tomando como patrón proteína de albúmina de suero bovino (ASB), obteniéndose una respuesta lineal con un coeficiente de ajuste $R^2=0,9975$. La solución patrón tuvo una concentración de 100 μ g/mL y a partir de allí se realizaron diluciones hasta alcanzar concentraciones que fueron desde 10, 20, 40, 60 y 80 μ g/mL.

Las muestras se midieron en las mismas condiciones de los estándares para la curva de calibrado.

Por otro lado, los ST se determinaron como se describió en la Subsección 4.3.2.3.

4.3.3.3. Determinación de tocoferoles totales (TT) en aceite de semillas de quinoa sometidas a distintos métodos de cocción.

Los TT se determinaron colorimétricamente mediante la reacción Emmerie-Engel (Moreno Luzia 2012; Wong *et al.*, 1988).

Para la determinación de TT se realizaron las cocciones descritas (4.3.3.1) y luego se procedió como se detalla a continuación:

Secado de las semillas: Las semillas fueron secadas en lecho fluidizado (*Fluid Bed Dryer*) durante 30 min a 80°C, y almacenadas en bolsas selladas y en cámara de frío hasta la molienda.

Molienda: Se utilizó molino de martillo (marca *Fritz*) con una malla de 0,25mm.

Extracción de aceite a partir de HQ: La extracción del aceite de quinoa se realizó con hexano a temperatura ambiente bajo agitación vigorosa durante 1 h en vasos de precipitado. Luego se filtró al vacío y el filtrado se centrifugó durante 15 min a 3000 rpm. El sobrenadante fue evaporado en un Rotavapor (marca *Buchi*) a 60°C con el balón cubierto con papel aluminio para evitar la fotoxidación de los tocoferoles hasta concentrar el aceite. Este último fue colocado en tubos eppendorf y llevado al freezer en total oscuridad para su posterior análisis.

Determinación de TT: para la determinación se empleó la técnica descrita por Wong *et al.* (1988). Las mediciones se realizaron a 520 nm empleando un espectrofotómetro *UV / Visible*. La concentración de TT se calculó en base a la curva de calibración realizada con el estándar de α tocoferol, según la ecuación 4.3 que se detalla a continuación (Wong *et al.*, 1988):

Ecuación 4.3.
$$Y = 0,03837 \times T - 0,00198$$

Dónde:

Y: Absorbancia neta = Absorbancia muestra – Absorbancia blanco.

T: concentración de tocoferoles en μg .

El contenido de TT, expresado en μg tocoferoles/g aceite, se determinó según:

Ecuación 4.4.
$$TT = \left(\frac{Y+0,00198}{0,03837} \right) \frac{10}{g \text{ de muestra}}$$

4.3.3.4. Determinación del tiempo óptimo de cocción (TOC) de las semillas de quinoa.

El TOC fue determinado mediante la prueba de Ranghino modificada (Juliano, 1985 en Colina & Guerra, 2009). Las cocciones fueron realizadas tal como se describió previamente. Una vez alcanzados los tiempos establecidos para cada método y condiciones de cocción, se detuvo la misma y se separaron 20 SQ que fueron colocadas entre dos placas de vidrio, se ejerció presión, se observó y se contó el número de semillas que se encontraban

completamente gelatinizadas, hecho que se evidencia por la desaparición del centro o núcleo opaco.

4.3.3.5. Fotografías de las semillas precocidas (SP) de quinoa.

Se tomaron fotografías a las semillas de quinoa precocidas por los distintos MC realizados por 10 min. con un microscopio digital (NisutaNs-dimi) de 2 Mpx y Zoom de 230x.

4.3.3.6. Determinación de la capacidad de absorción de agua (CAA) y humedad de las semillas de quinoa cocidas y precocidas.

Capacidad de Absorción de Agua (%): La CAA (%) se calculó considerando el peso de los granos antes y después de realizar las cocciones en las condiciones estudiadas (Mohapatra & Bal, 2006) según la ecuación 2.4, Capítulo 2.

Determinación del contenido de humedad de las SQ luego de las cocciones.

La determinación del contenido de humedad se realizó aplicando la técnica descrita en la Subsección 2.3.3.1.1, Capítulo 2.

4.3.4. Parte 3.

En esta parte del trabajo, las semillas empleadas para el análisis de las pérdidas nutricionales fueron lavadas por FCA (Ver subsecciones 3.3.3.2 y 3.3.4.2, Capítulo 3), precocidas por 10-11 min mediante la técnica VP (Ver subsección 4.3.2.1 del presente Capítulo) y secadas (Ver subsección 3.3.5, Capítulo 3).

4.3.4.1. Determinación de minerales en semillas precocidas de quinoa.

Las determinaciones se realizaron en Instituto Superior de Investigación, Desarrollo y Servicios en Alimentos (ISIDSA-UNC), Córdoba, Argentina. Se utilizó un espectrómetro de absorción atómica con quemador de llama y horno de grafito (marca *Perkin Elmer* mod. *AAAnalyst 600*).

4.3.4.2. Determinación de proteínas en semillas de quinoa con y sin precocción, con y sin secado.

La determinación de proteínas en las SP, SP y secadas y lavadas y secadas se realizó por el procedimiento de Kjeldhal, tal como se describió en la Subsección 2.3.3.1.2, Capítulo 2.

4.3.5. Parte 4.

En esta parte del trabajo, tal como se adelantó en la Subsección 4.3.1, se analizaron las AC de SQ de los lotes 2007 a 2011. El MC fue VP y el TC fueron 10-11 min (Subsección 4.3.2.1). Una vez alcanzado el tiempo establecido, las AC se dejaron enfriar, se filtraron y fueron llevadas a un volumen constante de 500 mL. A partir de ellas se analizaron: proteínas, minerales, ST, ARL y glucosa. Las cocciones se realizaron por duplicado en cada lote de semillas.

El análisis químico-proximal se realizó en las SP, previo secado en lecho fluidizado a 50°C.

4.3.5.1. Minerales en las aguas de cocción.

Los minerales (Ca, Mg y Zn) de las aguas de cocción se determinaron mediante titulación complejométrica (Harris, 2007).

Se colocó en un crisol un volumen conocido de AC, se evaporó en estufa por 24 h y posteriormente el residuo seco se calcinó en mufla (marca *Indet* mod. 273). Las cenizas se disolvieron en HCL (6N), se transvasó la disolución a un matraz volumétrico de 100 mL y se enrasó con agua destilada. Las titulaciones se realizaron por duplicado.

Valoración de Ca (II) + Mg (II) + Zn (II)

Se tomaron 10 mL de la solución medidos con pipeta volumétrica y se neutralizaron con una solución de NaOH (6N) hasta pH 7, se agregaron: 1 mL de trietanolamina para enmascarar el hierro, 10 mL de solución reguladora (0,8 g de cloruro de amonio y 57 mL de amoníaco concentrado se llevan a 100 mL con agua destilada) y punta de espátula de NET (negro de eritrocromo T al 1% en NaCl). Se tituló la solución con AEDT (Ácido etiléndiamino tetraacético) disódico (0,1M) hasta viraje del indicador.

Ca (II) + Mg (II)

La determinación de Ca+Mg se realizó como fue descrito precedentemente, pero agregando 1 g de KCN a la solución. Se tituló la solución con AEDT (Ácido etiléndiamino tetraacético) disódico (0,1M) hasta viraje del indicador. Por diferencia se cuantificó Zn (II).

Ca (II)

Para la determinación de Ca se tomaron 20 mL de la solución medidos con pipeta volumétrica, se neutralizó con NaOH (6N) hasta un pH entre 10 y 11. A continuación se agregaron: 1 mL de trietanolamina, 20 mL de solución reguladora, punta de espátula de Murexida (al 1% en NaCl) y 1 g de KCN. Se tituló la solución con AEDT (Ácido etiléndiamino tetraacético) disódico (0,1M) hasta viraje del indicador. Se titula Ca (II).

4.3.5.2. Determinación de sólidos en las aguas de cocción.

Los ST se determinaron como se describió en la Subsección 4.3.2.3. Las mediciones se realizaron por triplicado en cada una de las dos cocciones independientes para cada lote.

4.3.5.3. Determinación de proteínas en las aguas de cocción.

Las proteínas en las AC se determinaron por el procedimiento de Kjeldhal, Subsecciones 2.3.3.1.2, del Capítulo 2 y 4.3.2.6.1 del presente Capítulo 2. Las determinaciones se realizaron por triplicado en cada una de las dos cocciones independientes correspondiente a cada lote.

4.3.5.4. Determinación de azúcares reductores libres en las aguas de cocción.

La determinación de los ARL se realizó por el método colorimétrico del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), empleando la técnica descrita por Miller, (1959) citada por Ávila Núñez *et al.* (2012).

Curva de calibrado: La curva de calibración se realizó con Glucosa PA monohidrato. La solución madre tuvo una concentración de 1 mg/mL a partir de la cual se realizaron diluciones con las siguientes concentraciones: 0,1; 0,25; 0,50; 0,75 y 1 mg/mL. Se obtuvo una respuesta lineal, cuyo coeficiente ajuste fue R^2 : 0,9886.

Se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro *UV/visible*. Se empleó 1 mL de muestra en la determinación de ARL.

Las mediciones se realizaron por duplicado en cada una de las dos cocciones independientes.

4.3.5.5. Determinación del contenido de glucosa en las aguas de cocción.

El contenido de glucosa libre se determinó espectrofotométricamente utilizando el Kit de glicemia enzimática de Wiener Lab, la técnica allí descrita y la ecuación para el cálculo de la concentración.

Se realizaron las lecturas en espectrofotómetro *UV/visible* a 505 nm. Las mediciones se realizaron por duplicado en cada una de las dos cocciones independientes correspondientes a cada lote de semillas.

4.3.6. Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó según lo indicado en la Subsección 2.3.4, Capítulo 2.

4.4. Resultados y Discusión

4.4.1. Parte 1. Obtención de semillas precocidas.

4.4.1.1. Determinación del tiempo de cocción durante la cocción por vapor-presión de las semillas de quinoa para obtener harina de reconstitución instantánea.

Las muestras precocidas durante 300-400 s no reunieron los requisitos esperados de una harina instantánea, por lo tanto, se seleccionó la cocción durante 600-700 s (Tabla 4.1).

Todas las harinas se presentaron con textura arenosa al paladar, por tal motivo, una vez obtenidas, fueron tamizadas a través de las mallas 70, 100 y 200 ASTM (0,21, 0,15y < 0,074 mm, respectivamente), y testeadas sensorialmente, evaluándose paralelamente el rendimiento (Capítulo 5, Subsección 5.3.4).

Tabla 4.1. Resultados cualitativos del ensayo de dispersabilidad de las harinas precocidas.

<i>Tiempo de Cocción (s)</i>	<i>Observaciones</i>
300-400	Consistencia: Espesa. Múltiples grumos duros, difíciles de romper, con harina intacta dentro
600-700	Consistencia: adecuada a los fines. Grumos fácilmente desarmables

4.4.1.2. Comparación de la pérdida de sólidos a los dos rangos de tiempos de cocción analizados.

A partir del conocimiento del intervalo de TC, se realizó la comparación de las pérdidas de sólidos.

La Tabla 4.2 muestra la pérdida de ST a los dos TC analizados. El TC tuvo un efecto significativo en las pérdidas (p -valor<0,0001) de ST, como puede apreciarse allí.

Tabla 4.2. Pérdida de ST en función del TC.

<i>Tiempo de cocción (s)</i>	<i>ST (mg/100 g de semillas)</i>
300-400	83±20 a
600-700	167±26 b

Una letra común en la misma columna indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(Ver Anexo 4, Tabla 4.2).

Si bien a los 600-700 s la pérdida fue mayor, no fue posible obtener una harina de reconstitución instantánea, para menores tiempos de cocción.

4.4.1.3. Determinación de la temperatura interna de la marmita, durante la precocción de semillas de quinoa (vapor-presión:10-11 min).

La Figura 4.1 muestra la curva de temperatura de cocción con VP. Las temperaturas interna y externa, se mantuvieron sin diferencias notables hasta los 300 s.

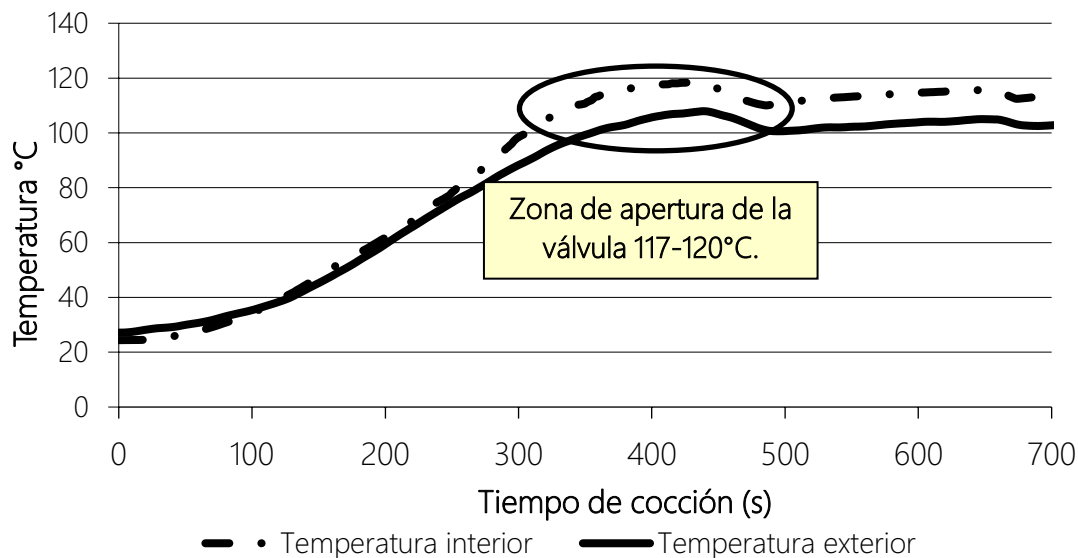


Figura 4.1. Curva temperatura interior y exterior de la marmita durante la cocción de semillas de quinoa por vapor-presión.

Al producirse la apertura de la válvula, ambas temperaturas mostraron un descenso brusco y a partir de los 500 s se mantuvieron casi paralelas, permaneciendo la temperatura interna unos 10°C por encima de la externa. La temperatura en el interior de la marmita entre los 500 a 700 s fue de $114 \pm 4^\circ\text{C}$.

Estos ensayos se realizaron con la finalidad de estandarizar la curva de temperatura y en ensayos siguientes, medir sólo la temperatura desde el exterior de la olla.

4.4.1.4. Comparación de la pérdida de sólidos y proteínas entre métodos de cocción tradicionales.

Tabla 4.3. Comparación de la pérdida de proteínas y sólidos entre métodos de cocción (mg/100 g de semillas).

MC	Proteínas	ST
H	146±14 d	1560± 290 a
HP	96±24 c	700±40 b
V	10,94±0,00 a	330±30 c
VP	40±10 b	100 ± 20 d

Medias con una letra común en una misma columna indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(Anexo 4, Tabla 4.3.A, Tabla 4.3.B).

La Tabla 4.3 presenta la comparación entre cuatro MC tradicionales acerca de la pérdida de proteínas y ST que se generaron cuando las SQ fueron cocinadas durante 10-11 min. Se observó un efecto significativo del MC sobre la pérdida de proteínas y ST (p -valor $<0,0001$) de las SQ. Las mayores pérdidas de proteínas se produjeron en las técnicas que implicaron inmersión del material en el agua, H y HP, siendo el H, el método con la mayor merma (Tabla 4.3). En las técnicas donde no hubo inmersión en el agua, la reducción de proteínas fue baja (~ 40 mg/100 g de semillas), siendo la técnica de V la que produjo las menores reducciones.

Siguiendo con la tendencia observada en las proteínas, los ST tuvieron las mayores pérdidas en los MC que incluyeron inmersión (H y HP) y significativamente menores en aquellos en donde el vapor de agua fue el medio de transferencia calórica.

A diferencia de lo que ocurrió con las proteínas, el método VP mostró la menor reducción de ST.

4.4.2. Parte 2.

4.4.2.1. Porcentaje de semillas de quinoa cocidas.

La determinación del TOC consiste en colocar una cierta cantidad de granos luego de cocinados entre placas de vidrio ejerciendo presión. El TOC se define como aquel en donde el 90% de los granos ya no presenta núcleo opaco o centros sin cocinar (Colina & Guerra, 2009; Mohapatra, 2003).

No se observó un efecto significativo del volumen de agua sobre el porcentaje de semillas cocidas (p -valor=0,6780) ni sobre el porcentaje de AA (p -valor= 0,0921), sin embargo, el MC, el TC y su interacción si ejercieron influencia sobre ambas variables dependientes (p -valor $<0,0001$).

Tal como es de esperar, el porcentaje de SQ cocidas se incrementa con el TC en los distintos MC y fue mayor en aquellos donde hubo inmersión de las semillas en agua (Tabla 4.4). A los 10 min de cocción el mayor porcentaje de semillas cocidas lo presentó la técnica HP (60%), sin embargo, a partir de allí no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de semillas cocidas entre el H y el HP a los 15 y 20 min, obteniéndose valores que superaron el 90% de semillas cocidas.

Tabla 4.4. Porcentaje de semillas de quinoa cocidas según el tiempo y método de cocción.

MC	TC (min)		
	10	15	20
V	0,0±0,0 a	6,3±7,5 a	16,3±6,3 b
VP	2,5±2,9 a	18,6±7,5 b	12,5±2,9 b
H	28,8±4,8 b	96,3±4,8 d	100±0,00 d
HP	60±30 c	91,3±11,8 d	100±0,00 d

Medias con una letra común en la misma columna indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

(Ver Anexo 4, Tabla 4.4)

El corto TC de las SQ para los métodos H y HP (15 min), con altos porcentajes de semillas cocidas, hacen referencia a la gran capacidad y velocidad de AA mencionada en la Subsección 3.4.3.3, Capítulo 3.

Los métodos que emplearon vapor (V y VP), tuvieron bajos porcentajes de semillas cocidas, respecto de los otros dos (Tabla 4.4). A diferencia de estos resultados, Smith *et al.*, 1985 citado por Colina & Guerra (2009) publican que, en el caso del arroz, la vaporización bajo presión en autoclave incrementa la velocidad de gelatinización, ya que la presión acelera el proceso de absorción de agua.

Los bajos porcentajes de semillas cocidas, obtenidos con los métodos que emplearon vapor, inducen a pensar que no son apropiados para la precocción de las SQ. Sin embargo, es preciso reconsiderar aquí la metodología para su determinación, dado que la técnica sólo contabiliza las semillas completamente gelatinizadas, donde se observa la completa desaparición de un núcleo opaco y no incluye a las semillas que se encuentran parcialmente gelatinizadas. Bonamino *et al.* (2009) informaron que es posible obtener una harina de reconstitución instantánea precociendo las SQ al vapor por 20 min. Esto permite concluir que, a pesar de que el porcentaje de semillas cocidas resultó bajo, es apropiado para obtener una harina de reconstitución instantánea.

La Figura 4.2 muestra fotografías de las SQ cocida por los distintos MC durante 10 min. Allí se observa que en los métodos que se empleó V, no hubo una cocción homogénea de las semillas (Figuras 4.2. A y B) dado el contacto desigual del material con el vapor de agua y que, si bien hay gelatinización parcial del almidón, evidente por la desaparición de zonas blancas, esta no es completa, por lo que el conteo del número de semillas cocidas por la técnica desarrollada, necesariamente bajo.

En las otras dos Figuras (Figura 4.2. C y D) se observa una cocción más homogénea de las semillas, mayor hinchamiento de los granos por la AA y semillas en las que incluso se ha perdido el germen durante la cocción.

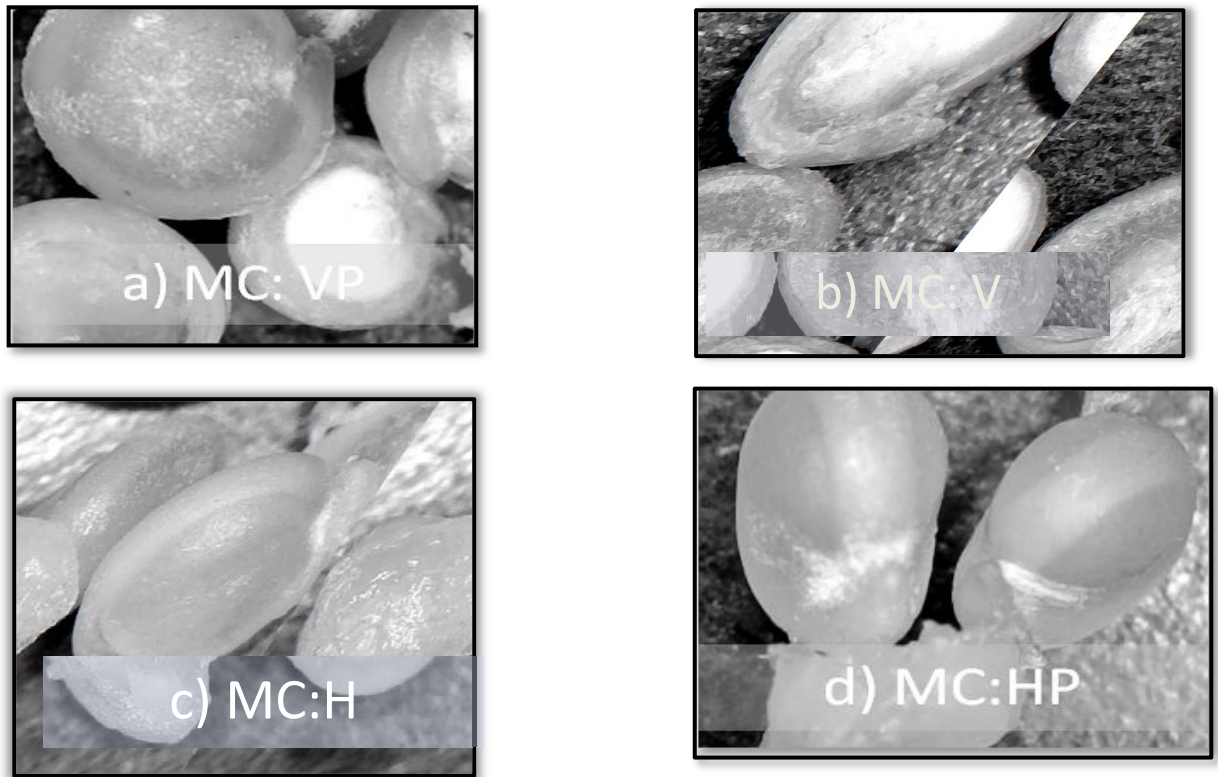


Figura 4.2. Fotografía de las semillas de quinoa cocidas y precocidas 10 min por los distintos métodos de cocción.



Figura 4.3. Semillas de quinoa cocidas por vapor: 20 min.

La Figura 4.3. refuerza la idea de que en las cocciones que emplean vapor la gelatinización del almidón no es homogénea, por contacto desigual de las semillas con el vapor de agua.



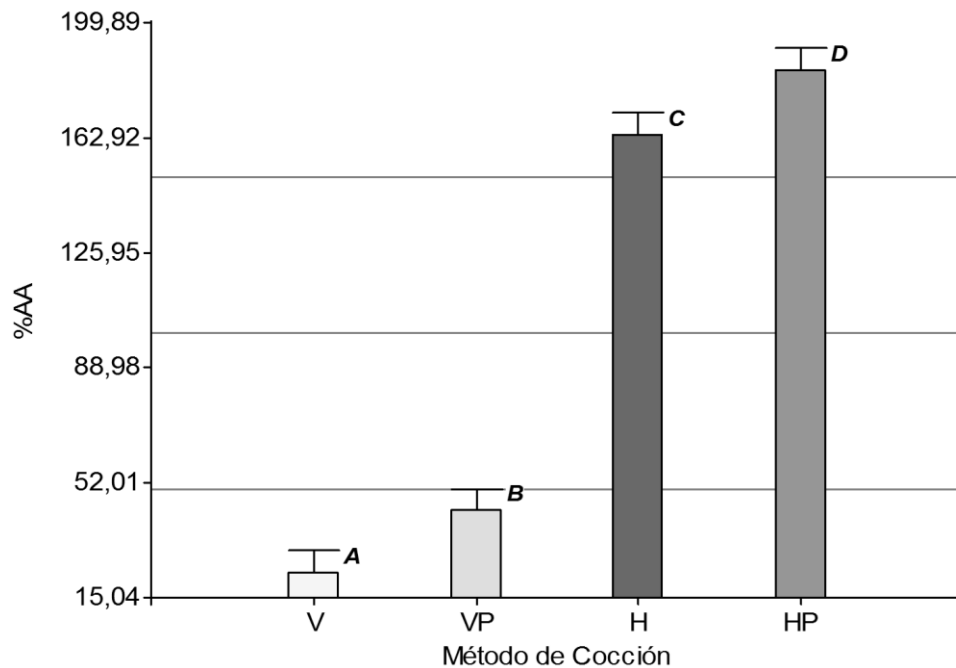
Figura 4.4. Semillas de quinoa cocidas por hervido: 20 min.

Los MC que implican a sus diferentes TC los mayores porcentajes de semillas cocidas presentaron completa gelatinización del almidón. Para obtener SP que brinden harinas de reconstitución instantánea, no es necesario alcanzar la completa cocción de las semillas. Ellos son: H y HP a los tres tiempos analizados. Aunque el H: 10 min debería considerarse ya que el porcentaje de semillas cocidas fue significativamente más bajo que en los otros casos (Tabla 4.3). Sin embargo, a las 20 min hay gelatinización completa del almidón (Figura 4.4).

4.4.2.2. Capacidad de absorción de agua y humedad en las semillas de quinoa luego de someterlas a los distintos métodos y tiempos de cocción.

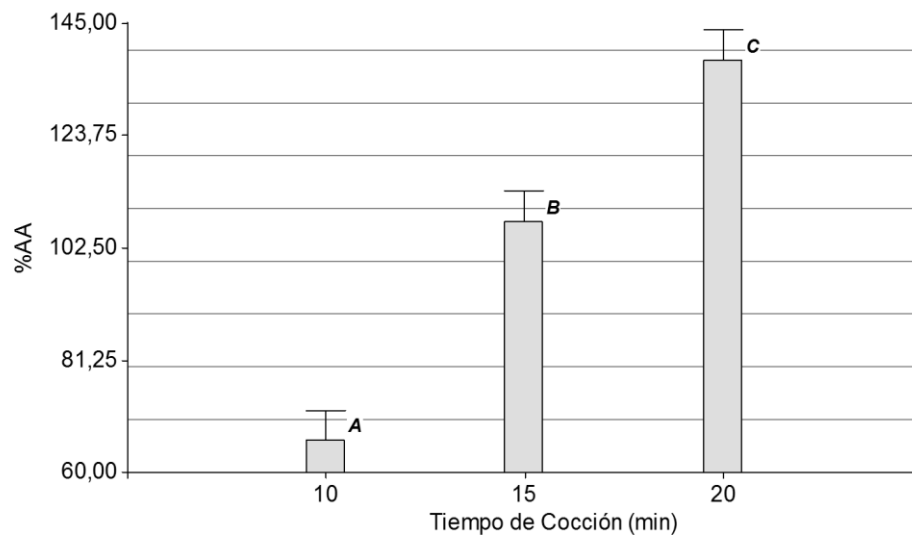
La cocción de los granos produce ablandamiento de membranas lo que permite la entrada de agua por los espacios intercelulares, con el consiguiente aumento de su peso y volumen (Mudambi *et al.*, 2006). La cantidad de agua absorbida depende de factores intrínsecos y extrínsecos. Dentro de los primeros se encuentra la composición fisicoquímica del alimento y en los segundos las condiciones de procesamiento, como MC y TC.

Los MC y TC ejercieron efectos significativos en el porcentaje de AA (p-valor <0,0001 y 0,0002, respectivamente) (Figuras 4.5.A y 4.5.B) y porcentaje de humedad de semillas cocidas (p-valor <0,0001 para ambas variables). El volumen de agua empleado parece no tener efecto sobre el porcentaje de AA (p-valor=0,0921) (Ver Anexo 4, Figura 4.5).



Barras con una letra común, indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 4.5.A. Porcentaje de absorción de agua de las semillas de quinoa según el método de cocción aplicado.



Barras con una letra común indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

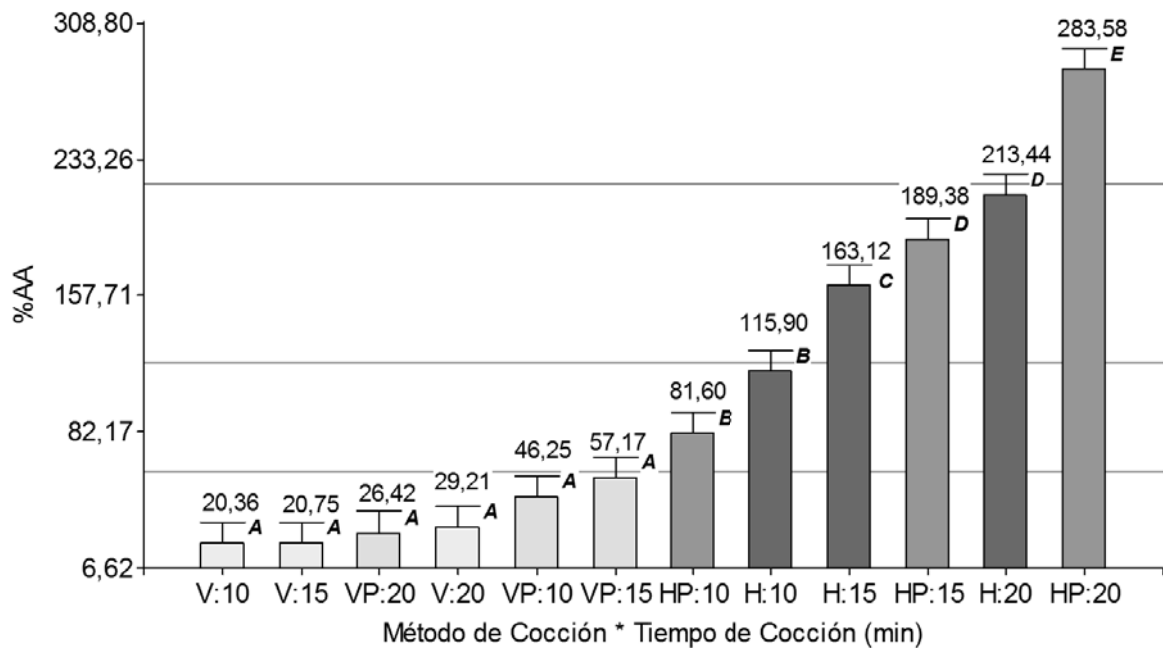
Figura 4.5.B. Porcentaje absorción de agua de las semillas de quinoa según el tiempo de cocción.

Los cuatro MC mostraron diferencias significativas entre si, en orden creciente de AA se encontraron el método V, VP, H y HP (Figura 4.5.A) (Ver Anexo 4, Figura 4.5.A).

Como se muestra en la Figura 4.5.A, la cocción al vapor con presión dio un mayor porcentaje de AA que sólo vapor, pero el incremento en la AA es sustancialmente mayor cuando se cocina por inmersión y aún más si ésta se combina con presión. La mayor AA en

estos últimos se produjo porque las semillas estuvieron contacto directo con el agua, mientras las otras lo hicieron con el vapor; al ser este menos denso, sus moléculas hacen contacto menos frecuentemente con el alimento. La presión aumenta la frecuencia de choques de las moléculas de agua con el alimento y eso se constata al comparar las cocciones con vs sin presión, tanto para sólo vapor, como para las realizadas a inmersión total (Smith *et al.* (1985) en por Colina & Guerra, 2009).

En cuanto al TC, se observó una tendencia creciente en el porcentaje de AA a medida que se incrementó el tiempo, mostrando diferencias significativas entre cada uno de los tres TC analizados (Figura 4.5.B) (Ver Anexo 4, Figura 4.5.B).



Barras con una letra común indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.5.C. Porcentaje de absorción de agua de las semillas de quinoa según el método y tiempo de cocción.

También se observó un efecto significativo en la interacción entre las variables TC y MC en los porcentajes de AA y de humedad (p -valor $<0,0001$ en ambas variables). De este análisis surgió que los métodos que emplean vapor no presentaron diferencias significativas en los porcentajes de AA a los distintos TC (Figura 4.5.C) mostrando mostraron los más bajos valores de AA. Sin embargo, este hecho se revirtió para los otros dos métodos, donde sí se observó una tendencia creciente en el valor de AA respecto al tiempo de cocción (Ver Anexo 4, Figura 4.5.C).

Como era de esperar, los porcentajes de humedad más bajos se encontraron en los MC: V y VP, y a diferencia de los otros dos, no se observó una tendencia clara sobre el incremento de la humedad como consecuencia del TC (Tabla 4.5.A).

En los V y VP, el Intervalo de Confianza (95%) del contenido de humedad de las semillas luego de las cocciones se encontró entre 29,87% y 35,99% (Ver Anexo 4, Tabla 4.5.A) a los tres tiempos de cocción.

Tabla 4.5.A. Porcentaje de humedad de las semillas de quinoa cocidas.

MC	TC (min)		
	10	15	20
H	56,7±1,8 c	63,8±0,9 d	70,5±1,7 d
HP	52,7±4,0 c	67,3±8,9 d	76,7±1,9 e
V	28,8±3,0 a	26,4±4,3 a	31,1±3,5 a
VP	38,8±5,5 b	42,7±6,6 b	29,7±3,7 a

Medias con una misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Al igual que lo ocurrido con el porcentaje de semillas cocidas, los resultados no mostraron una tendencia clara al incrementar el TC, ya que el contacto del vapor de agua con las semillas durante las cocciones no es homogéneo (Tabla 4.5.A). En los métodos que incluyen inmersión en agua, los porcentajes de humedad superaron el 50% a los 10 min de cocción y no se observaron diferencias significativas entre ambos métodos. A los 15 min, el valor de humedad se incrementó significativamente en ambos métodos, superando el 60% y por último, a los 20 min se alcanzaron valores de humedad que superaron el 70% (Ver Anexo 4, Tabla 4.5.A). El HP fue el método que presentó el mayor valor de humedad (Tabla 4.4.A). Como en estos métodos la tendencia creciente en el porcentaje de humedad fue clara, se establecieron IC (95%) para cada tiempo (Tabla 4.5.B).

Tabla 4.5.B. Intervalos de Confianza (95%) del porcentaje de humedad a cada tiempo de cocción para los métodos de cocción: hervido y hervido a presión.

TC (min)	LI (95%)	LS (95%)
10	51,71	57,66
15	60,41	70,73
20	70,47	76,65

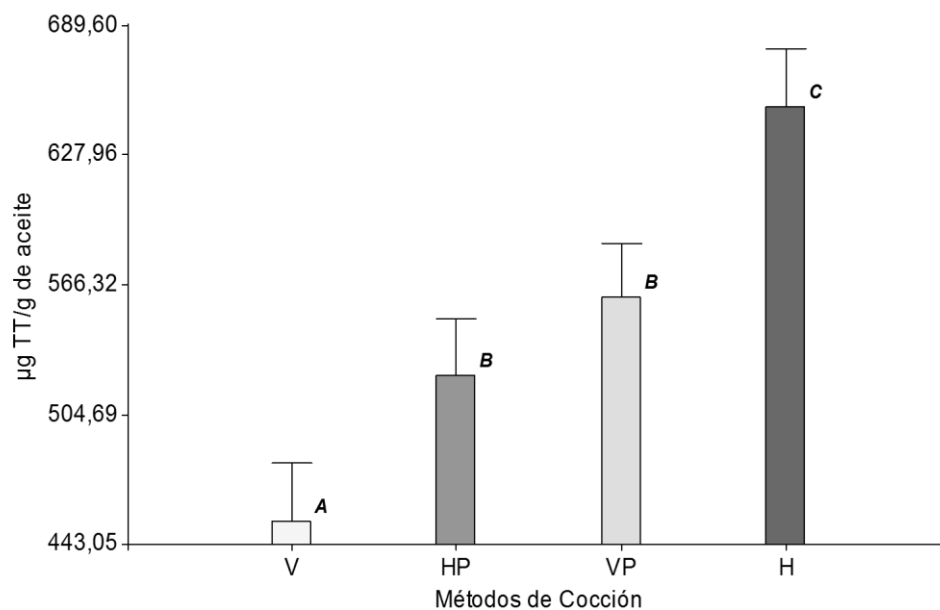
LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior (Ver Anexo 4, Tabla 4.5.A).

A diferencia de las cocciones de las Partes 1 y 3, éstas se realizaron a partir de semillas con un contenido de humedad entre 11 y 12%, por lo tanto, el nivel de cocción de estas semillas, sus AA y sus humedades fueron diferentes, a aquellas con humedades

iniciales superiores Al 40%. El contenido inicial de agua en los cereales que serán destinados a cocción afecta notablemente la velocidad de este proceso y de manera proporcional (Mudambi *et al.*, 2006). Por ello son esperables mayores porcentajes de semillas cocidas y de AA.

4.4.2.3. Tocoferoles totales (TT) en aceite de semillas de quinoa sometidas a diferentes métodos y tiempos de cocción.

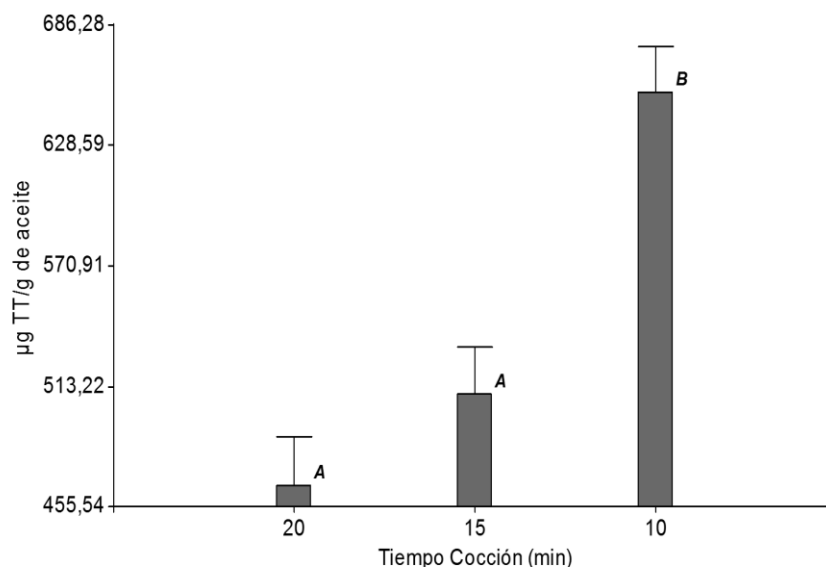
Si bien con la técnica empleada en la determinación de los TT en los aceites de quinoa no permite identificar y cuantificar los vitámeros de la vitamina E y la reacción no es específica, ya que puede pueden existir otros pigmentos coloreados u ocurrir la reducción del ión férrico con otras sustancias como carotenoides, vitamina A y esteroides (Moreno Luzia, 2012; Wong *et al.*, 1988) es posible conocer las variaciones absolutas en la concentración de TT que experimentan las SQ al ser sometidas a diferentes MC y TC, tal como lo señala el objetivo. Es una técnica sencilla, rápida y de bajo costo.



Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 4, Figura 4.6).

Figura 4.6. Contenido de tocoferoles totales según método de cocción.

Los MC presentaron un efecto significativo sobre el contenido de TT ($p < 0,0001$). El H fue el que más conservó el contenido de TT, mientras que en el V ocurrió lo contrario (Figura 4.6). Los aceites obtenidos de semillas cocidas por los métodos que emplearon presión, no mostraron diferencias significativas en el contenido de TT entre ellos, con concentraciones intermedias a las de las técnicas V y H (Figura 4.6).

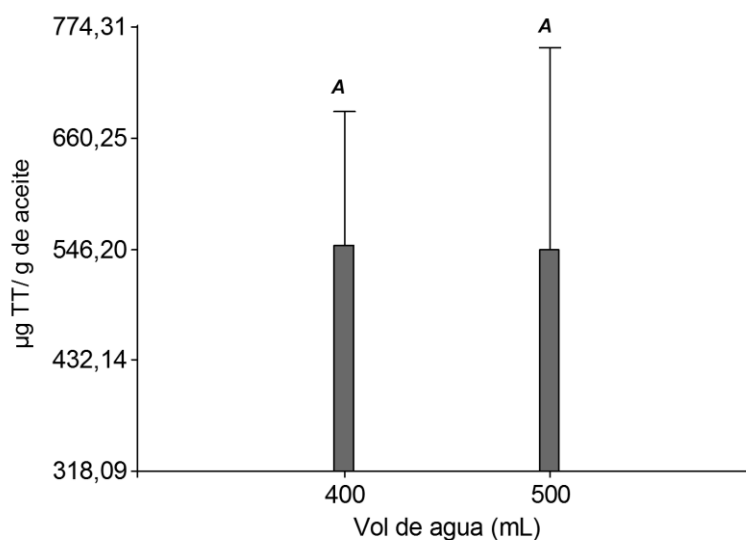


Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 4.7. Contenido de tocoferoles totales según tiempo de cocción.

Al igual que lo ocurrido con los MC, los TC ejercieron una influencia significativa ($p < 0,0001$) sobre el contenido de TT (Ver Anexo 4, Figura 4.7). Como muestra la Figura 4.7 el contenido de TT en los aceites de quinoa fue mayor para el menor TC (10 min) y menor para 15 y 20 min, sin diferencias significativas para estos dos últimos tiempos.

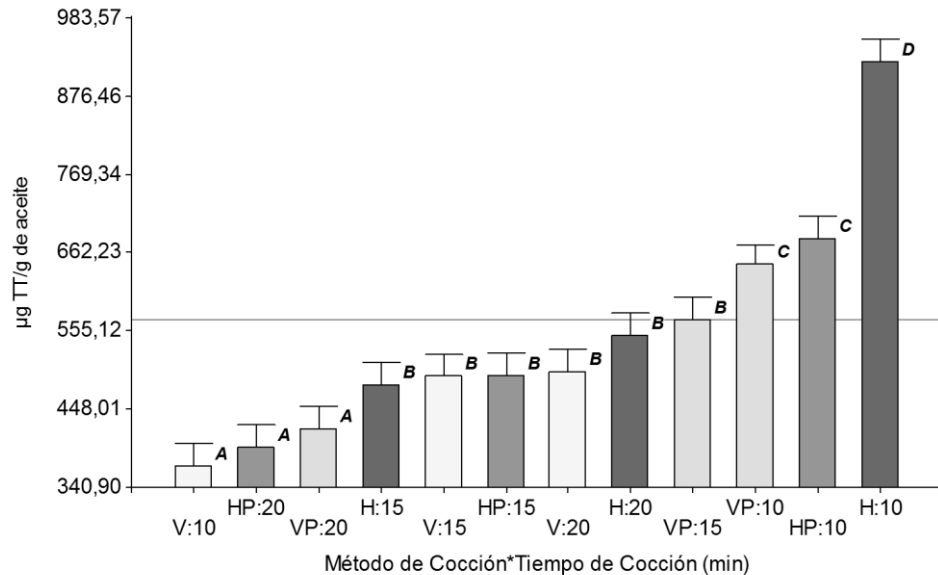
A diferencia de lo ocurrido con los MC y los TC, no se observó en efecto significativo del volumen de agua empleado en las cocciones a los diferentes tiempos (p -valor: 0,6111) (Ver Anexo 4, Figura 4.8). La Figura 4.8 muestra la superposición de las barras de error entre los volúmenes de agua empleados en las cocciones.



Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.8. Contenido de tocoferoles totales según volumen de agua (mL) empleado en la cocción.

El análisis de la varianza aplicando interacciones entre las variables MC y TC, indicó que existe un efecto significativo de la interacción entre ambas variables sobre la concentración de TT en los aceites de SQ cocidas (p -valor $<0,0001$) (Figura 4.9; Ver Anexo 4, Figura 4.9).



Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.9. Contenido de tocoferoles en aceites de semillas de quinoa por diferentes métodos y tiempos de cocción.

El H durante 10 min fue el MC que conservó la mayor cantidad de TT (931,90 µg TT/g de aceite) seguido por HP y VP 10 min., que no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos, pero sí con el primero.

Por el contrario los métodos de V por 10 min, seguido por HP 20 min y VP 20 min, presentaron las mayores pérdidas de TT sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos; les siguieron los métodos H, V, VP y HP por 15 min, V y H durante 20 min, también sin diferencias estadísticamente significativas entre los mismos.

A partir de los resultados obtenidos se pudo corroborar tal como plantearon Sayago *et al.* (2007), Álvarez Jubete *et al.* (2009) y Koziol (1991) que los niveles de TT se modifican luego de ser sometida a procesos culinarios. La vitamina E es susceptible a factores como la luz, la oxigenación y el calor, por lo tanto, durante la preparación de los alimentos, ocurren pérdidas considerables en el contenido de vitamina E, siendo los procesos de fritura, asado o cocción a fuego lento, aquellos en los que se producen las mayores pérdidas, al existir un mayor contacto con el calor y el oxígeno (Mataix & Ochoa (2002) en Sayago *et al.*, 2007). Si bien se ha comprobado el efecto de la temperatura sobre el contenido de tocoferoles (Elmadfa & Wagner (1997) en Sayago *et al.*, 2007) no fueron los métodos que alcanzan mayores temperaturas (110°C) VP y HP los que produjeron mayores mermas del contenido

de TT (Figura 4.6). Así fue que el MC al V fue el que más tocoferoles perdió (Figura 4.6 y 4.9) posiblemente debido al contacto de las semillas con el oxígeno, a diferencia del H y HP, donde las semillas estuvieron sumergidas en el medio de cocción. Si bien el H es considerado el método que mayores pérdidas nutricionales provoca en general (Caracuel García, 2008), esta afirmación no es aplicable al contenido de TT, pues ocurrió lo contrario con esta vitamina respecto de los otros métodos. Esto se explicó por el menor contacto de las semillas con el oxígeno, pero además al ser liposoluble es menos susceptible a sufrir lixiviación hacia el medio de cocción (Eitenmiller & Lee, 2004).

Álvarez Jubete *et al.* (2009) estudiaron las pérdidas de vitamina E luego de la cocción de panes sin gluten elaborados con 50 y 100% de harina de pseudocereales, pan control con trigo y pan control libre de gluten, encontrando pérdidas que oscilaron entre el 7 y 30%, a excepción del pan de trigo, donde las pérdidas alcanzaron el 47,6%. Los panes que emplearon quinoa en su formulación fueron los que presentaron las menores pérdidas, 7,5% para panes 100% quinoa y 13,6% para los panes 50% quinoa. Además, encontraron una correlación negativa entre el contenido inicial de tocoferoles y la pérdida luego del horneado. Las pérdidas fueron atribuidas tanto a la oxigenación durante el amasado y la destrucción por calor durante el horneado como al contenido inicial de tocoferoles y la presencia diferencial de sustancias con capacidad antioxidante.

Por otro lado, Koziol (1991) comparó el contenido de α -tocoferol de quinoa, antes y después de someterla a distintos procesos de desamargado (pulido y lavado) y cocción, observando una disminución en el contenido de vitamina E. La muestra que fue lavada y cocinada presentó un valor de 0,7 mg de α -tocoferol/100g de peso seco. Si bien este valor es inferior a lo presentado en la Tabla 4.6, sólo hace referencia a la fracción α -tocoferol y no se describe en ese trabajo el procedimiento de cocción.

Los resultados de TT aquí presentados son similares a los informados por Ryan *et al.* (2007) (0,052 mg de α , β y γ -tocoferol/g semillas) (Tabla 4.6). El contenido de TT en el H, HP y VP durante 10 min de cocción fue mayor a lo publicado por Álvarez Jubete *et al.* (2009) para semillas de quinoa (α -ET 0,0247 mg/g de grano) (Tabla 4.5). Además, el contenido de TT luego de los distintos tratamientos fue superior al publicado para amaranto (α -ET 0,0154mg/g de grano), trigo sarraceno (α -ET 0,0063 mg/g de grano) y trigo (α -ET 0,0098 mg/g de grano) (Ryan *et al.*, 2007).

Tabla 4.6. Contenido de tocoferoles totales en semillas de quinoa cocidas por distintos métodos y tiempos.

MC:TC	μg en 50 g de semillas (3 g de aceite)	mg/ g de semillas
H:10	2771,1	0,055
H:15	1441,86	0,029
H:20	1646,58	0,033
HP:10	2042,64	0,041
HP:15	1479,93	0,030
HP:20	1185,42	0,024
V:10	1110,33	0,022
V:15	1479,48	0,030
V:20	1498,5	0,030
VP:10	1939,77	0,039
VP:15	1713,36	0,034
VP:20	1261,8	0,025

Las diferencias encontradas con otros trabajos de investigación, puede deberse a diferentes motivos; entre estos, se pueden mencionar la técnica analítica empleada en la determinación y la variedad de quinoa utilizada. Con respecto a este último factor, es importante destacar que aún tratándose de aceites originados a partir de la misma especie, pueden presentar contenidos variables de tocoferoles y con diferentes composiciones de los distintas formas posibles y esto como consecuencia de las condiciones climáticas, agronómicas, de la procedencia de la semilla; del sistema de extracción del aceite y del procedimiento de refinación, si lo hubiere (Cent *et al.* (2000) en Grilo *et al.*, 2014).

Tabla 4.7. Contenido de tocoferoles en distintos aceites comerciales (Grilo *et al.*, 2014).

Aceite	Soja	Maíz	Canola	Girasol	Soja ¹ (crudo)	Soja ¹ (refinado)
mg α y γ -tocoferol/g de aceite	0,344	0,433	0,242	0,524	1,04	0,85

1. Desa *et al.*, 1988.

Tabla 4.8. Intervalos de Confianza (95%) para los contenidos mg de TT/g de aceite de quinoa según los métodos de cocción.

IC (95%)	MC			
	H	HP	V	VP
LI	0,57	0,47	0,43	0,51
LS	0,73	0,58	0,48	0,61

IC: Intervalo de Confianza; LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior

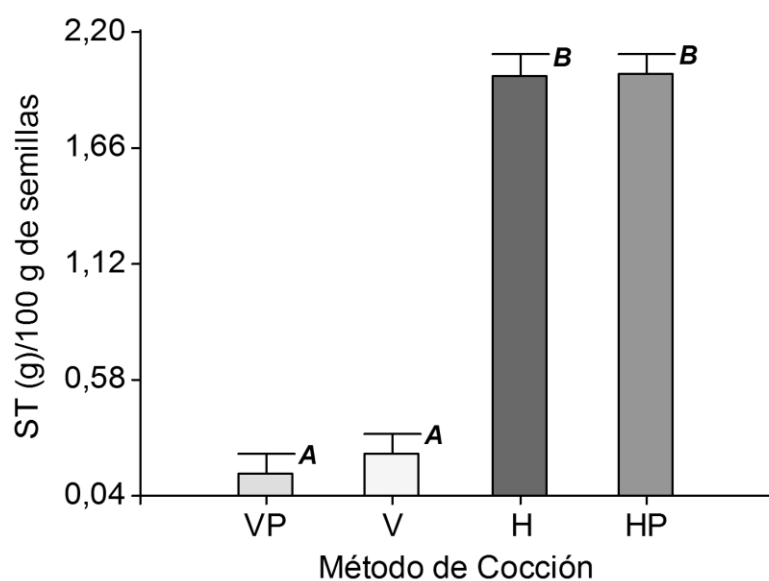
(Ver Anexo 4, Tabla 4.8)

La Tabla 4.7 muestra el contenido de α y γ -tocoferol en aceites comerciales de soja, maíz, canola y girasol. El aceite de canola presentó resultados inferiores a los encontrados en aceites de SQ cocidas por los cuatro métodos (Tabla 4.7). Lo mismo ocurrió con el aceite de soja estudiado por Grilo *et al.* (2014), sin embargo, los datos publicados por Desa *et al.* (1988) para aceite de soja tanto crudo como refinado (Tabla 4.6), superan los valores hallados en quinoa (Tabla 4.8), excepto en el aceite obtenido de SQ cocidas por H: 10, que fue el método que mayor conservo el contenido de TT (Figura 4.9).

Sin embargo, el aceite de girasol se asemejó a los valores de TT encontrados para los aceites de semillas cocidas por los métodos HP y VP y el de maíz a las semillas cocidas al V (Tabla 4.8). Es preciso remarcar que en el aceite de quinoa aquí empleado no fue refinado y por lo tanto, los altos valores de tocoferoles podrían explicarse por ese motivo; es bien sabido que el proceso de refinación de los aceites produce pérdidas de vitamina E (Desa *et al.*, 1988; Koziol, 1992). Desa *et al.* (1988) estudiaron el contenido de TT (α , β , γ y δ tocoferol) en aceite de soja durante las etapas de refinación y encontraron que durante el desgomado y el tratamiento con álcali las pérdidas son mínimas, mientras que, durante la desodorización al vapor con alto vacío, la reducción de tocoferoles es de alrededor del 22%.

4.4.2.4. Pérdida de sólidos en las aguas de cocción.

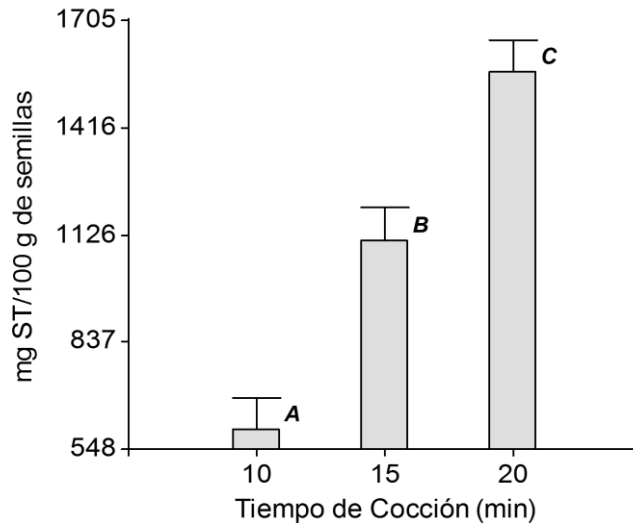
Los MC y TC presentaron en efecto significativo en la pérdida de sólidos de las SQ durante las cocciones (p -valor $<0,0001$ para ambas variables) (Figura 4.12.A y B respectivamente).



Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.10.A. Pérdida de sólidos según el método de cocción.

Los métodos que emplearon vapor no presentaron diferencias en la pérdida de ST, las cuales fueron bajas en comparación con los métodos en los que hubo inmersión de las semillas en el agua y en estos últimos las pérdidas fueron similares (Figura 4.10.A) (Ver Anexo 4, Figura 4.10.A). La pérdida media de sólidos fue de 230 y 135 mg/100 g de semillas para los MC: V y VP respectivamente y de 2000 y 2004 mg/100 g de semillas en los métodos H y HP.



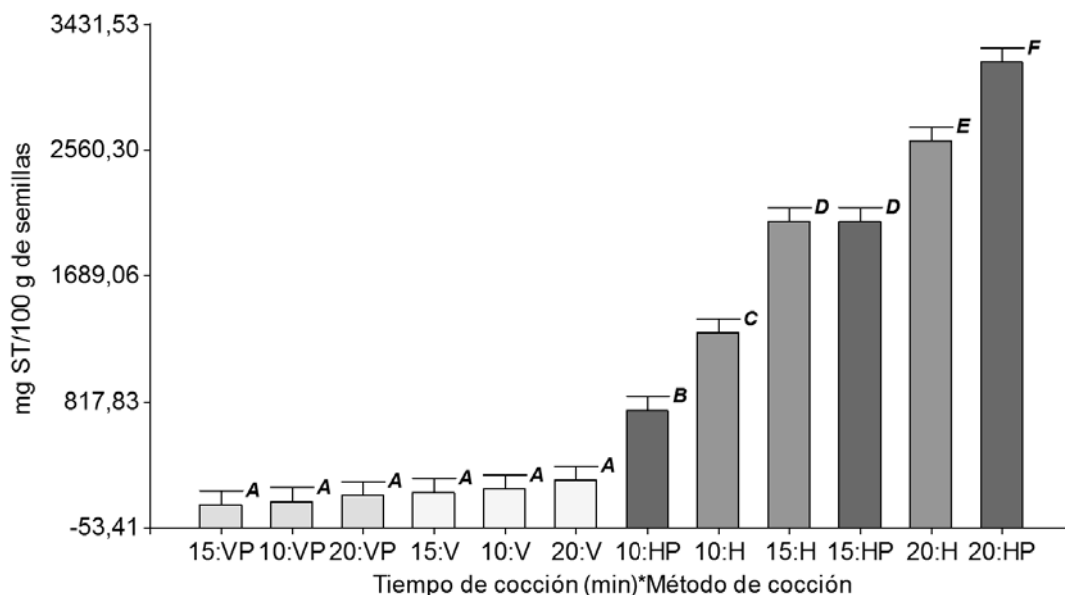
Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.10.B. Pérdida de sólidos según el tiempo de cocción.

La merma en el contenido de ST de las semillas fue proporcional al TC. De este modo, la pérdida fue de 600; 1111 y 1565 mg ST/100 g de semillas a los 10, 15 y 20 min respectivamente (Figura 4.10.B) (Ver Anexo 4, Figura 4.10.B).

A diferencias de las otras variables, el volumen de agua (mL) empleado en las cocciones no afectó significativamente la pérdida de ST (p -valor=0,8913) (Ver Anexo 4, Figura 4.10). Si bien se considera que el empleo de un gran volumen de agua durante la cocción con posterior eliminación del exceso produce mayores pérdidas de nutrientes solubles esta característica no se evidenció para los volúmenes de agua analizados en este trabajo.

Por otra parte, cuando las semillas son enjuagadas con agua para separarlas después de la cocción, también aumenta la pérdida de nutrientes solubles.



Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 4.11. Pérdida de sólidos según el método y tiempo de cocción.

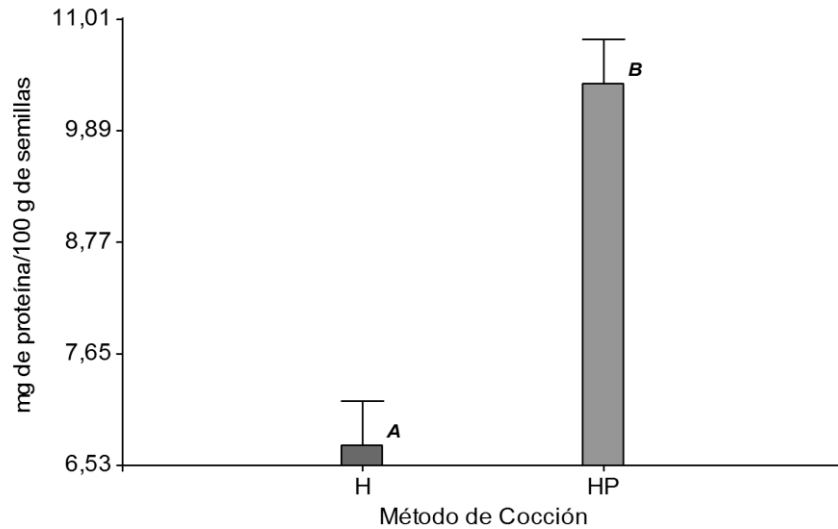
Se observó un efecto significativo (p -valor $<0,0001$) en la interacción de las variables MC y TC sobre la pérdida de ST (Ver Anexo 4, Figura 4.11). H y HP fueron los métodos que mayores pérdidas de ST produjeron y que estas fueron proporcionales al tiempo. A los 10 min de cocción, las pérdidas no superaron el 1,8%, a los 15 ascendieron a 2,1% y a los 20 min alcanzaron el 2,6% y 3,2%. Estos últimos porcentajes correspondieron a los métodos de inmersión y de inmersión y presión, ambos por 20 min, respectivamente y que resultaron en las mayores pérdidas registradas.

A diferencia del H y HP, el TC no afectó la pérdida de sólidos en los MC que emplearon vapor, y tampoco hubo diferencias significativas entre estos. La pérdida de ST en la cocción al V no supera el 0,18% y en VP el 0,33%, valores calculados a partir del límite superior del intervalo de confianza (Ver Anexo 4, Intervalos de Confianza (95%) para la pérdida de ST en los MC que emplearon vapor).

4.4.2.5. Pérdida de proteínas solubles en las aguas de cocción.

Los MC que emplearon V tuvieron pérdidas de proteínas solubles inferiores a 2 $\mu\text{g/mL}$, lo equivale a menos de 2 mg proteína/100 g de semillas. A diferencia de los sólidos, los resultados obtenidos en lo que respecta a la pérdida de proteínas fueron notablemente diferentes a los alcanzados en la Parte 1, donde para el método V y VP las pérdidas fueron 11 y 40 mg/100 g de semillas respectivamente. Estas diferencias serían atribuibles a diferencias en la metodología analítica empleada. Por ejemplo, en el procedimiento de Kjeldhal se cuantifica nitrógeno orgánico total y en Bradford, sólo la fracción soluble de las

proteínas, esto pondría en ventaja al primero de los métodos; sin embargo, esa diferencia no debería ser significativa por dos razones: a. Bradford es eficiente para medir polipéptidos en general y b. es razonable pensar que el principal componente nitrogenado soluble, en quinoa, son proteínas. Es posible que las diferencias observadas en los resultados de la Parte 1 y 2 entre métodos podrían estar relacionadas con los límites de cuantificación.

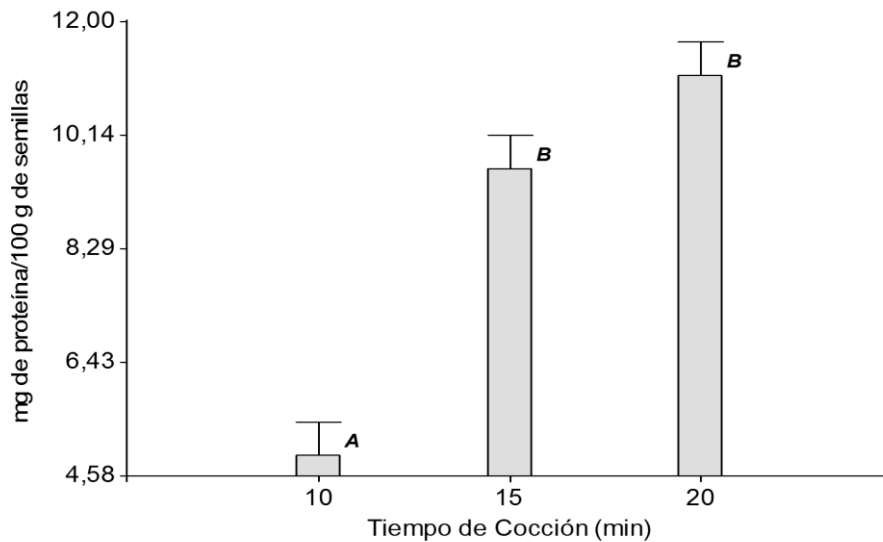


Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 4, Figura 4.12.A).

Figura 4.12.A Pérdida de proteínas según el método de cocción.

Se observó un efecto significativo del MC (H y HP) (p -valor: $<0,0001$) y el TC (p -valor: $<0,0001$) sobre la pérdida de proteínas. Caso contrario ocurrió con el volumen de agua empleado en las cocciones (p -valor: 0,2199).

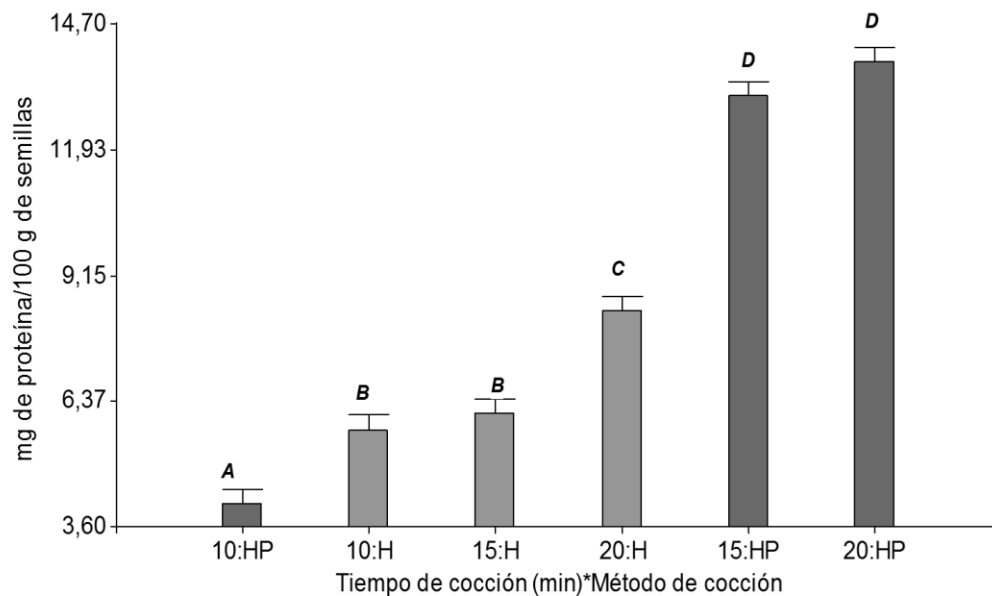
Así, el HP presentó una pérdida mayor que el H tradicional, siendo de 10,36 y 6,73 mg de proteína/100 g de semillas (Figura 4.12.A).



Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 4, Figura 4.12.B).

Figura 4.12.B. Pérdida de proteínas según el tiempo de cocción.

La pérdida de proteínas mostró una tendencia creciente en función de TC. Así, la menor pérdida se produjo a los 10 min de cocción, siendo de 4,92. A los 15 y 20 min las pérdidas de proteína (mg/100 g de semillas) fueron de 9,61 y 11,12, respectivamente (Figura 4.12.B).



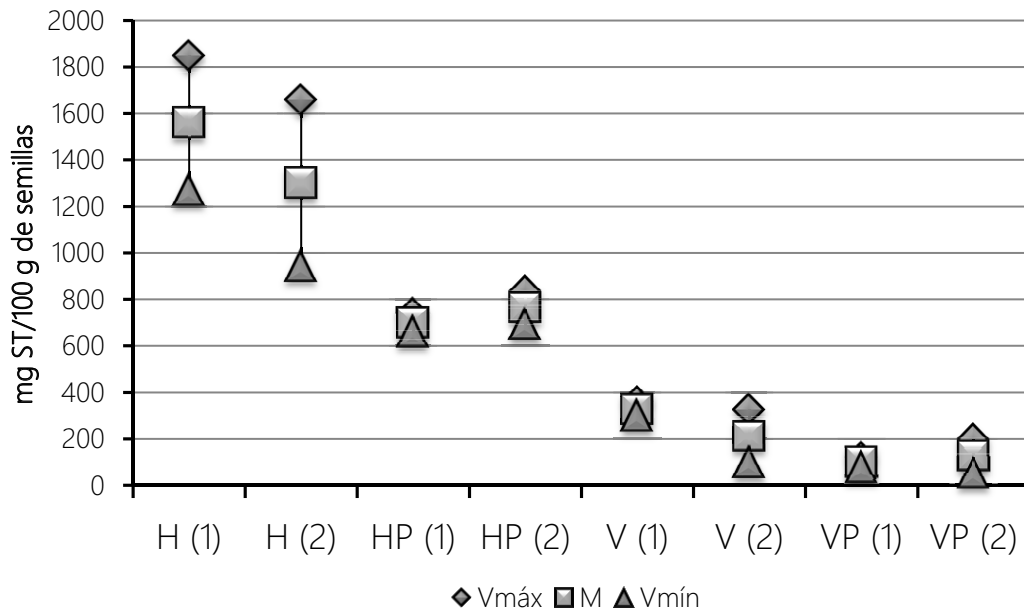
Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 4, Figura 4.13)

Figura 4.13. Pérdida de proteínas según la interacción método y tiempo de cocción.

La interacción entre la variable TC y MC presentó un efecto significativo (p -valor $<0,0001$). El MC que mayores pérdidas produjo fue el HP a 15 y 20 min (13,11 y 13,87 mg de proteína perdida/100 g de semillas) (Figura 4.13).

Comparación de la pérdida de sólidos entre las Partes 1 y 2 del trabajo.

En la Figura 4.14 están representados a modo comparativo, los resultados de pérdida de sólidos obtenidos en la Parte 1 y 2 del trabajo, donde se compararon cuatro MC realizados durante 10 min. Allí es posible observar que a pesar que de los ensayos fueron realizados a partir de lotes diferentes, las pérdidas son similares, hecho que se manifiesta por la superposición de las barras de error. En ambas partes del estudio se observó que las mayores pérdidas se produjeron para los métodos H y HP y que en los otros dos (V y VP) ocurrió lo contrario, siendo VP el método que menores pérdidas de sólidos generó (Figura 4.14). De aquí surgió el interés de establecer la pérdida en los restantes lotes, a fin de establecer con cierta certeza, cuáles serían las pérdidas de sólidos totales, al cocinar las semillas de quinoa por el método VP durante 10 min. Este aspecto se desarrolla más adelante (*Parte 4*, Tabla 4.11).



Vmáx: Valor Máximo; M: Valor medio; Vmín: Valor Mínimo; (1): Resultados obtenidos en la Parte 1 y (2): Resultados obtenidos en la Parte 2.

Figura 4.14. Comparación de las pérdidas de ST entre los resultados obtenidos en las Partes 1 y 2 del trabajo.

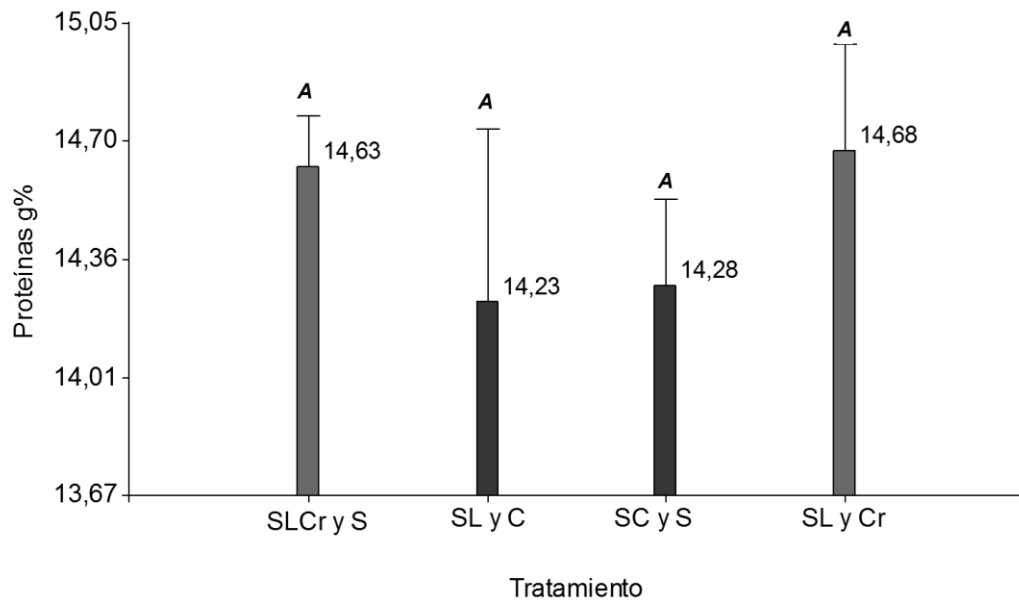
Dado que en la Parte 1 y 2 correspondiente a la pérdida de proteínas, los resultados obtenidos fueron significativamente diferentes, no fue posible establecer un gráfico comparativo.

4.4.3. Parte 3.

4.4.3.1. Efecto del tratamiento de precocción (vapor-presión:10-11 min) y secado de las semillas de quinoa sobre el contenido proteico.

No se observó un efecto significativo de la precocción y el secado (p -valor: 0,3093) sobre el contenido de proteínas (Figura 4.15).

El MC parece no afectar el contenido proteico de las SQ. Así, las semillas precocidas no tuvieron diferencias significativas en el contenido proteico con respecto a las SC ($14,24 \pm 0,5$ y $14,63 \pm 0,14$, respectivamente), estos resultados son apoyados por los bajos niveles de proteínas detectadas en el agua de cocción (Tablas 4.3, 4.10 y 4.11).



SLCr y S: Semillas Lavadas Crudas y Secadas; SL y C: Semillas Lavadas Cocidas sin secado; SC y S: Semillas Cocidas y Secadas; SL y Cr: Semillas Lavadas y Crudas sin Secado.

Barras con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 4, Figura 4.15).

Figura 4.15. Contenido de proteínas en semillas lavadas crudas y cocidas, con y sin secado (g%).

Si bien se tratan de MC diferentes, a fines comparativos es interesante mencionar el trabajo de Repo Carrasco & Serna (2011), quienes informaron pérdidas de proteínas al someter a las semillas al proceso de extrusión.

Los resultados coinciden con los datos publicados por Colina & Guerra (2009), quienes no encontraron pérdida de proteínas durante la cocción del arroz, a pesar de ser más prolongada y por inmersión en agua. Lo mismo ocurrió durante la cocción de verduras en

autoclave, donde no se observaron efectos significativos del método de cocción sobre la composición proximal de estas (Apata & Ologhobo, 1994; Khalil & Mansour, 1995).

La cocción, al provocar desnaturalización y coagulación de las proteínas globulares, dejaría los aminoácidos hidrófobos en la superficie y como consecuencia de la mayor exposición se reduciría la solubilidad (Fennema, 1993) y la probabilidad de pérdidas durante la cocción. Se sabe que, en la quinoa, prevalecen las proteínas globulares (albúminas y globulinas) (Galwey, 1993; Prakash & Pal, 1998; Valcárcel Yamani & da Silva Lannes, 2012), por lo que la escasa pérdida proteica podría entenderse dada esta característica.

Al igual que el MC, el secado de las SQ no produjo variaciones en el contenido proteico. En las SC lavadas fue $14,68 \pm 0,31$ g%, en las SC lavadas y secadas $14,63 \pm 0,14$ g%, en las SP $14,23 \pm 0,5$ g% y por último, en las SP y secadas $14,28 \pm 0,26$ g% (Figura 4.15). A diferencia de esto, Miranda *et al.* (2010) publicaron que durante el secado de los granos de quinoa con un secador por convección entre 40°C y 80°C se produjo una reducción del 10% en las proteínas, junto con una merma del 12%, 27% y 56% para grasas, fibra-cenizas y sacarosa, respectivamente.

4.4.3.2. Efecto del tratamiento de precocción (vapor-presión:10-11 min) sobre el contenido mineral las semillas de quinoa.

Tabla 4.9. Contenido de minerales en semillas precocidas de quinoa (vapor-presión: 10-11 min) (mg/100 g semillas).

Muestra	Ca	Fe	Zn	Mg
Semillas precocidas	$36,3 \pm 3,18$	$1,35 \pm 0,32$	$0,85 \pm 0,23$	$61,29 \pm 16,95$

El proceso de precocción (VP: 10-11 min) redujo el contenido de Ca, Fe, Zn y Mg de las SQ. A partir de los resultados presentados en la Tabla 3.4 (Capítulo 3), se calculó el porcentaje de pérdida de los minerales analizados. Estas fueron del 22% para Mg, 25% para Zn, 26% para Fe y 28% para el Ca. El porcentaje de reducción fue inferior al hallado durante el desamargado por “flujo continuo de agua”, a excepción del Ca, donde se observó una reducción mayor respecto al desamargado.

A pesar de tratarse de procesos de precocción diferentes, Colina & Guerra (2009) hallaron pérdidas en el contenido Mg, Fe y Zn, pero no de Ca durante la precocción del arroz por hervido. Lo mismo ocurrió con resultados obtenidos por Repo Carrasco *et al.* (2010) durante el hervido de SQ por 20 min con una relación de granos/agua de 250 g /L. Por otro lado, la dializabilidad de Fe y Ca disminuye y la de Zn aumenta con respecto a la quinoa cruda o tostada. El tostado de los granos mostró mayores valores de dializabilidad de

Fe y Zn que los granos hervidos, pero no presentó diferencias respecto de los granos crudos (Repo Carrasco *et al.*, 2010)

4.4.4. Parte 4.

4.4.4.1. Análisis de pérdidas nutricionales durante la cocción de semillas de quinoa (vapor-presión:10-11 min) de los lotes 2007 a 2011.

Tabla 4.10. Pérdida de sólidos, proteínas, azúcares reductores libres y glucosa durante la cocción de semillas de quinoa de todos los lotes (mg/100 g de semillas).

LOTE	2007	2008	2009	2010	2011
ST	262,86±73,54	293,96±40,28	167,58±30,40	162,09±27,85	250±31,22
Proteínas	32,73±16,03	15,71±3,56	35,9±3,17	9,02±3,4	32,42±17,69
ARL	0,04±0,00	0,04±0,00	0,07±0,00	0,02±0,01	0,04±0,01
Glucosa	0,01±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00

Las pérdidas de sustancias nutritivas y no nutritivas, representadas por los ST, durante la cocción por vapor a presión, sería consecuencia de la penetración del vapor de agua en la semilla, disolución de las mencionadas sustancias y su posterior lixiviación. Durante la cocción de las SQ esta reducción fue variable entre los lotes. Incluso, en el caso de los sólidos y las proteínas, se observaron variaciones importantes entre réplicas de un mismo lote. Sin embargo, no se observaron grandes variaciones en los resultados de ARL y glucosa ni entre lotes, ni entre réplicas. Los ARL están constituidos por glucosa, maltosa, fructosa, galactosa, etc. A pesar de ser moléculas de alta solubilidad, las pérdidas fueron bajas en comparación a la pérdida total de sólidos (Tabla 4.10).

Las pérdidas de sustancias nutritivas y no nutritivas, representadas por los ST se producirían en el caso de la cocción VP por arrastre con el vapor de agua. Durante la cocción de las SQ esta reducción fue variable entre los lotes. Incluso, en el caso de los sólidos y las proteínas, se observaron variaciones importantes entre réplicas de un mismo lote. Sin embargo, no se observaron grandes variaciones en los resultados de ARL y glucosa ni entre lotes, ni entre réplicas. Los ARL están constituidos por glucosa, maltosa, fructosa, galactosa, etc. A pesar de ser moléculas de alta solubilidad, las pérdidas fueron bajas en comparación a la pérdida total de sólidos (Tabla 4.10).

La Tabla 4.11 presenta los Intervalos de Confianza (95%) de la pérdida de sólidos, proteínas, ARL y glucosa que se producen al cocinar las quinoa en las condiciones descriptas. En líneas generales es posible afirmar que el MC empleado produce escasas pérdidas. Por ejemplo, para ST, el IC (95%) se encontró entre 224,50-291,91mg/100 g de quinoa, lo que representa pérdidas desde 0,22 a 0,29%. Allí, se encuentran todos los

componentes nutritivos y no nutritivos que escaparon de los granos durante la cocción con vapor de agua.

Tabla 4.11. Intervalos de Confianza (95%) establecidos para las pérdidas nutricionales en las aguas de cocción durante la precocción de semillas de quinoa (vapor-presión: 10-11 min) en los lotes 2007 a 2011.

Variable	Media±DE	LI (95%)	LS (95%)
ST	258,21±90,26	224,5	291,91
Proteínas	25,16±14,94	19,58	30,73
ARL	0,04±0,02	0,03	0,05
Glucosa	0,03±0,01	0,01	0,01

LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior (Ver Anexo 4, Tabla 4.11).

Comparación de la pérdida de proteínas entre los resultados de la Parte 1 y 4 del capítulo.

La cocción de las SQ en las condiciones descritas generarían reducciones del contenido proteico, con un 95% de confianza, entre 21,39 y 31,15 mg/100 g de semillas. Si bien son valores bajos, superan ampliamente a lo encontrado en la *Parte 2* de este trabajo, donde la determinación de las proteínas por el método de Bradford, presentó valores que no superaron los 2 mg/100 de semillas.

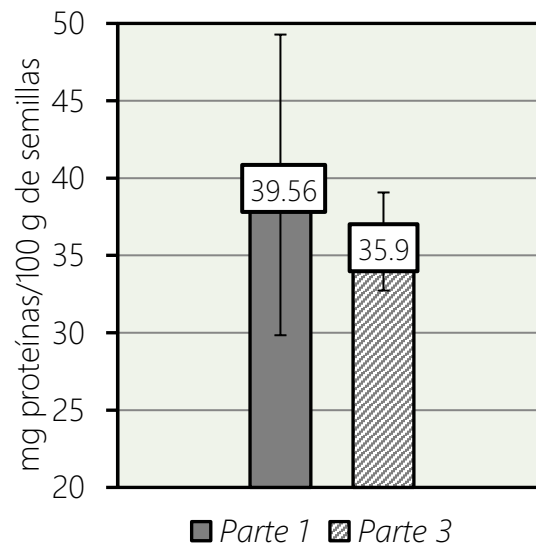


Figura 4.16. Comparación de las pérdidas de proteínas entre los resultados abordados en las Partes 1 y 4 del trabajo.

Tabla 4.12. Intervalos de Confianza (95%) establecidos con las Partes 1, 2 y 4 del capítulo, para las pérdidas nutricionales en las aguas de cocción durante la precocción de semillas de quinoa (vapor-presión:10-11 min).

<i>Variable (mg/100 g semillas)</i>	Media±DE	LI (95%)	LS (95%)
<i>Proteínas</i>	27,5±16,9	21,39	31,15
<i>Sólidos Totales</i>	158,86 ± 74,47	154,77	204,88

LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior

Tabla 4.13. Proporción de pérdida de proteínas, azúcares reductores libres, glucosa, Ca y Mg en relación a la pérdida total.

Composición de las aguas de cocción	LOTE					Rango
	2007	2008	2009	2010	2011	
<i>Proteínas</i>	12,45	5,34	21,42	5,56	12,97	5 a 21
<i>ARL</i>	0,02	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01 a 0,04
<i>Glucosa</i>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00 a 0,01
<i>Calcio</i>	1,38	0,37	2,63	2,07	0,63	0,4 a 2,6
<i>Magnesio</i>	0,41	0,33	1,28	1,14	1,24	0,3 a 1,3
<i>Otros:</i>	85,73	93,93	74,62	91,20	85,14	75 a 94

La Tabla 4.12 muestra el porcentaje que representa cada uno de los nutrientes analizados en relación a la pérdida total de sólidos y el porcentaje de otros componentes nutricionales y no nutricionales que están presentes en las aguas de cocción en forma de sólidos. La cantidad de otros componentes (otros azúcares, oligosacáridos, fibra dietética, pigmentos, otros minerales, vitaminas, almidón, etc.) en las aguas de cocción fue de entre 75 y 95%. El porcentaje de pérdida en Ca y Mg ocasionado por la cocción de las semillas se encontró entre 4,2 y 8,5% y 1,6-2,8% para Ca y Mg, respectivamente.

4.4.4.2. Composición química-proximal de las semillas de quinoa precocidas (vapor-presión:10-11min).

Tabla 4.14. Composición química proximal de semillas de quinoa precocidas (vapor-presión:10-11 min).

g/100g	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Proteínas</i>	16,30±0,60 c	14,76±0,49 b	13,55±0,40 b	14,42±0,46 a	16,90±0,86 c
<i>Grasas</i>	8,48±0,58c	8,67±0,60c	7,06±0,32b	5,58±0,59 a	6,71±0,73 b
<i>Cenizas</i>	1,87±0,05a	1,95±0,08b	1,99±0,07b	1,90±0,07 a	2,02±0,08 b
<i>H de C</i>	73,35±1,23	74,62±1,17	77,40±0,79	78,10±1,12	74,37±1,67

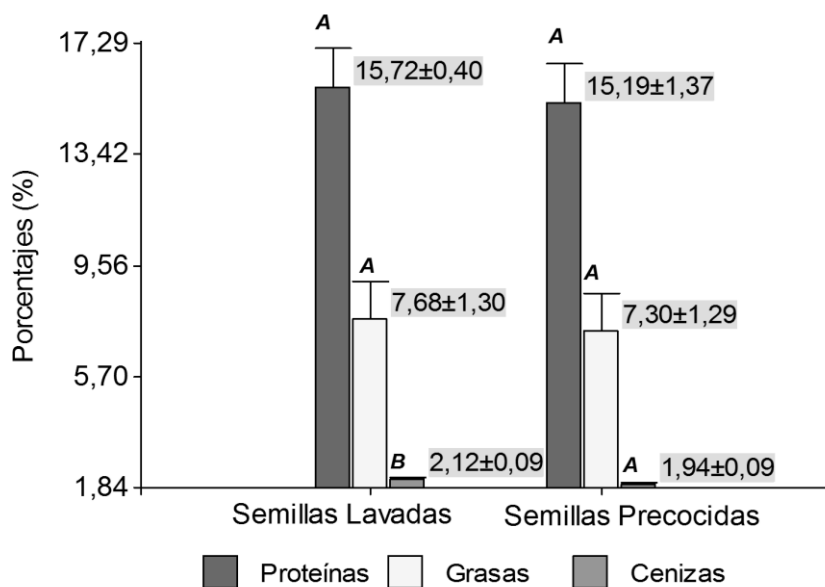
H de C: Hidratos de Carbono Totales.

Letras iguales en la misma fila indica que las medias no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

((Ver Anexo 4, Tabla 4.13).

La composición química proximal de las SQ precocidas fue variable entre los lotes de semillas. Las diferencias fueron más significativas para grasas y proteínas (p-valor < 0,0001) que para cenizas (p-valor=0,0069). Los resultados se encontraron dentro de los rangos establecidos por Alandia Borda *et al.* (1979), al igual que los frutos de los cuales provienen.

4.4.4.3. Efecto de la precocción sobre la composición proximal de las semillas de quinoa.



Letras idénticas entre las barras correspondientes a proteínas, grasas o cenizas, indican que no existen diferencias significativas entre las medias (> 0,05) (Ver Anexo 4, Figura 4.17).

Figura 4.17. Efecto del tratamiento de precocción (vapor-presión:10-11 min) sobre el contenido de cenizas, grasas y proteínas de las semillas de quinoa.

La Figura 4.17 muestra el impacto del tratamiento de precocción sobre el contenido de grasa, proteínas y cenizas de las SQ. Hubo un efecto significativo de la precocción (VP: 10-11 min) sobre el contenido de cenizas de las semillas. Esto corrobora lo ya presentado en la Tabla 4.9, donde se observó la reducción del contenido de algunos minerales, como consecuencia del tratamiento.

Los resultados aquí obtenidos muestran la misma tendencia observada en la Parte 3, pero son más abarcadores, dado que incluyen el análisis de todos los lotes y no sólo al 2010.

Aunque ya se mencionó las coincidencias con los resultados de Colina & Guerra (2009) y Repo Carrasco *et al.* (2010), difieren sin embargo, con los publicados por Repo Carrasco & Serna (2011), quienes si hallaron reducciones de proteínas y grasas, pero el proceso utilizado por estos autores es el de extrusión, con condiciones de presión y temperaturas bien distintas.

Los resultados acerca de la pérdida proteica y de lípidos como consecuencia del tratamiento coinciden como ya se mencionó con los de Colina & Guerra (2009) y Repo Carrasco *et al.* (2010). Sin embargo, son diferentes de los resultados publicados Repo Carrasco & Serna (2011), quienes si hallaron reducciones de proteínas y grasas como consecuencia de la extrusión.

A diferencia de lo ocurrido con las cenizas, el contenido de grasas y proteínas parece no ser afectado (p -valor=0,2586 y 0,1397). El resultado abordado en cuanto a la pérdida proteica fue alcanzado también en la Parte 3, Figura 4.15. A diferencia de aquel, las conclusiones aquí abordadas son el resultado del análisis estadístico de los cinco lotes (2007 a 2011).

4.5. Conclusiones parciales.

Aunque el tiempo de cocción afecta la pérdida de sólidos totales y de proteínas de las semillas de quinoa, es preciso precocerlas lo suficiente tal que, las harinas resulten de reconstitución instantánea. En este sentido, la precocción por vapor-presión: 10-11 min arrojó buenos resultados, con bajas pérdidas de sólidos, proteínas, azúcares reductores libres y glucosa, en comparación con aquellos métodos en donde las semillas fueron sumergidas en el medio de cocción (hervido y hervido a presión). A pesar de provocar las mayores pérdidas nutricionales, el hervido: 10 fue el método de cocción que más conservó el contenido de tocoferoles totales. Contrariamente, los métodos de presión con vapor y de inmersión, con o sin presión, todos a 10 min, fueron los que menos pérdidas de nutrientes ocasionaron. De los elementos que integran la composición proximal, sólo se redujeron significativamente las cenizas, manteniéndose constante el contenido proteico y de grasas entre semillas lavadas y semillas lavadas y cocinadas. La reducción de las cenizas fue necesariamente acompañada de una merma en el contenido de minerales, que si bien fue considerable, los porcentajes de reducción mineral fueron menores a los producidos durante el lavado. Esto marca la necesidad de mejorar la eficiencia del desamargado, en cuanto a la retención de minerales.

Capítulo 5

5. Secado y Molienda de Semillas de Quinoa (SQ) Crudas (SC) y Precocidas (SP). Impacto de las condiciones de molienda sobre algunos componentes de importancia nutricional.

5.1. Introducción al Capítulo.

Uno de los principales subproductos de la quinoa beneficiada es la harina. El valor nutritivo de ésta dependerá del tipo de molienda y molino empleados, pues ellos definen las fracciones constitutivas de las semillas que serán separadas y, consecuentemente, las características nutricionales del producto obtenido.

A nivel industrial, durante la molienda de granos para la obtención de harinas refinadas, se remueven el salvado y el germen, donde se encuentran componentes nutritivos y no nutritivos, tales como fibra dietética, vitaminas, minerales, fitoestrógenos, compuestos fenólicos, etc., que son de interés para la salud (Slavin (2004) en Flight & Clifton, 2006).

Sin embargo, cuando la molienda se realiza con molino de martillo, el producto resultante es una harina integral, que por sus características nutricionales puede denominarse también “grano entero”. El consumo de “grano entero” de manera habitual reduciría entre un 20 y un 40% el riesgo de padecer enfermedades coronarias y cardiovasculares respecto a quienes lo hacen esporádicamente (Slavin, 2001 en Flight & Clifton, 2006). Además, los granos integrales contienen un gran número de fitoquímicos, tales como fitoestrógenos, antioxidantes y compuestos fenólicos, los cuales junto a las vitaminas y minerales, pueden ser protectores contra diferentes tipos de cáncer gastrointestinal y enfermedades cardiovasculares, actuando ya sea de manera aislada o sinérgica. Los cereales integrales molidos, podrían incluso ser mejor aprovechados por el organismo humano que los granos enteros (Slavin (2001) en Flight & Clifton, 2006).

En la denominación “grano entero” se incluye a los granos de cereal que consisten en los frutos de los granos intactos, molidos, quebrados o en hojuelas cuyos principales constituyentes anatómicos están presentes en las mismas proporciones relativas que existen en el grano intacto (Oldways Whole Grains Council, on line). En las últimas décadas se ha incrementado el uso de harinas integrales debido a su mayor valor nutricional y destacable aporte de fibra. La mayoría de harinas integrales de trigo presentes en el mercado se elaboran mezclando harina blanca con la correspondiente cantidad de salvado, el que puede incorporarse con distintos tamaños de partículas. En estas harinas no se suele incorporar el germen, debido a los problemas de enranciamiento que presenta y la

consiguiente reducción de la vida útil de la harina, por tanto, este tipo de “harinas con salvado” no deberían denominarse integrales (Pallarés *et al.*, 2007)

Por otro lado, la molienda en general, independientemente del tipo de molino que se emplee, ayudan a incrementar la biodisponibilidad de los nutrientes mediante la conversión del grano en partículas más pequeñas. El aumento efectivo del área superficial, permite mayor superficie disponible para el ataque por parte de las enzimas digestivas (Henry & Chapman, 2002).

Además, del tipo de molino empleado, existen otras variables que influyen directamente sobre la operación de reducción de tamaño, su rendimiento y composición final del producto; entre ellas la composición química (humedad, contenido de aceite, fibra, etc.), dureza, velocidad de dosificación del molino, tamaño y forma, etc.

En este trabajo se realizó la molienda con molino de martillo, que como se mencionó en el Capítulo 1, se trata de un tipo de molienda artesanal.

El presente Capítulo de desarrollo en 2 Partes:

En la Parte 1 se continuó el análisis del efecto de las condiciones de procesamiento sobre el contenido de proteínas de las semillas iniciado en la Parte 3 del Capítulo 4. Allí se alcanzó la etapa de secado, donde no fueron observados efectos de la precocción (vapor-presión: 10-11 min) y el secado sobre el contenido proteico de las semillas. En el presente Capítulo se analizó el efecto de la molienda sobre el contenido proteico del producto final.

A partir de los resultados abordados en la Parte 1, surgió la Parte 2 del Capítulo. Aquí se evaluaron, por un lado, el efecto de las condiciones de molienda (humedad, velocidad de dosificación del molino y tamaño de malla) sobre el rendimiento y composición química de las harinas, y por otro, se establecieron las curvas de secado de las semillas crudas y precocidas de quinoa.

5.2. Objetivos específicos del Capítulo

- Determinar posibles pérdidas en el contenido de proteínas durante el proceso de molienda.
- Establecer la cinética de secado por lecho fluidizado a 50°C de semillas crudas y precocidas de quinoa.
- Conocer el rendimiento en harina de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa empleando diferentes condiciones de humedad (7 y 12%), velocidad de dosificación del molino (14 y 27 g/min) y tamaño de malla (0,12 y 0,25 mm).
- Determinar la composición química proximal y fibra dietética total de las harinas que presentaron rendimientos bajos (RB), medios (RM) y altos (RA) y fibra detergente ácida de aquellas que obtuvieron rendimientos extremos.
- Determinar el porcentaje de almidón dañado en las harinas crudas.
- Conocer los parámetros de color L*a* y b* de las harinas provenientes de semillas crudas y precocidas de quinoa obtenidas bajo las condiciones de molienda mencionadas anteriormente.
- Realizar microscopías electrónicas de barrido a la harina cruda y precocida obtenida con rendimiento alto.

5.3. Materiales y Métodos

5.3.1. Material vegetal

El origen de los FQ empleados fue descrito en la Subsección 2.3.1, Capítulo 2.

Parte 1: Se emplearon las SQ de la cosecha 2010 que fueron utilizados en la Parte 3 del Capítulo 4 hasta la etapa de secado.

Parte 2: Se emplearon FQ quinoa de la cosecha 2011. La calibración del dosificador de SQ se realizó también con frutos de la cosecha 2010.

5.3.2. Parte 1.

5.3.2.1. Efecto de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa sobre el contenido de proteínas de sus harinas.

5.3.2.1.1. Determinación del contenido de proteínas.

El contenido de proteínas en las harinas obtenidas por molienda de SC y SP de quinoa bajo condiciones indeterminadas de velocidad de dosificación del molino (g/min) y humedad, se determinó por el procedimiento de Kjeldhal (Subsección 2.3.3.1.2, Capítulo 2). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.3.3. Parte 2.

5.3.3.1. Secado de las semillas crudas y precocidas de quinoa.

Luego de seleccionar los frutos (Subsección 2.3.2.1, Capítulo 2), desamargarlos (Capítulo 3, Subsección 3.3.4.2 y 3.3.4.2) y precocerlos (VP: 10-11 min), en el caso de SP (Subsección 4.3.2.1, Capítulo 4), las semillas fueron secadas en lecho fluidizado “*Fluid Bed Dryer*” (Figura 5.1).

Se realizaron secado dos ensayos de secado: Ensayo de Secado 1 (ES1) y Ensayo de Secado 2 (ES2), ambos se realizaron a 50°C a la máxima velocidad de aire del equipo. El flujo de aire fue de 0,24m/s (Gili & Palavecino 2013 en Bruno, 2014).

Ambos ensayos estuvieron conformados por tres secados independientes y se determinó el contenido de humedad por triplicado, tanto de las semillas que ingresaban al secador luego del desamargado, precocción y/ o centrifugado según corresponda, como de las obtenidas para los distintos tiempos de secado.

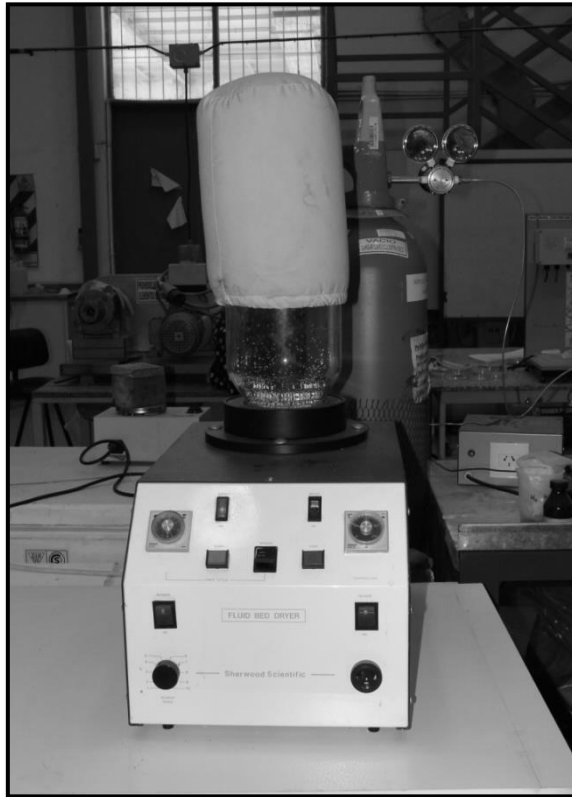


Figura 5.1. Secador de lecho fluidizado.

5.3.3.1.1. Ensayo de Secado 1 (ES1)

Procedimiento: 300 g de frutos fueron desamargados y desamargados y precocidos (VP: 10-11 min). Inmediatamente de finalizados los procesos, las semillas fueron colocadas en la tolva del lecho fluidizado e iniciado el secado. Cada 5 min, el lecho se detuvo y se recolectó muestra para la determinación del contenido de humedad, así sucesivamente hasta alcanzar 35 min en las SC y 75 min en las SP.

5.3.3.1.2. Ensayo de Secado 2 (ES2)

Este ensayo se diferenció del anterior en que el proceso se realizó con carga constante y que las semillas luego del desamargado, desamargado y cocción fueron centrifugadas. Durante el proceso se registraron la humedad relativa ambiente (%) y la temperatura (°C) empleando el sensor PASCO PS-2124^a que fue conectado a un *Datalogger computer* (Xplorer GLX Pasco).

Los lavados y lavados con cocción de los FQ, se realizaron en bolsas de lienzo que contuvieron 300 g cada una. Una vez realizadas estas operaciones, las bolsas con las semillas fueron centrifugadas en una centrifuga para tratamiento de superficies, marca

LIMEIRA-SP con canasto de acero inoxidable hasta que no se observó salida de líquido (Figura 5.2).

Se tomaron 70 g y se colocaron en la tolva para iniciar el proceso que se realizó a 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 min en las SC y hasta 75 min en las SP.



Figura 5.2. Centrífuga.

5.3.3.2. Determinación del contenido de humedad y porcentaje de agua perdida de las semillas durante el proceso de secado.

La determinación del contenido de humedad de las semillas se realizó como se describe en la Subsección 2.3.3.1.1, Capítulo 2.

El porcentaje (%) de agua perdida se calculó restando al valor de humedad a tiempo cero, el correspondiente a cada tiempo graficado.

5.3.3.3. Diseño experimental de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa.

Con el fin de encontrar las mejores condiciones de molienda de las SC y SP de quinoa, se recurrió al diseño experimental de Taguchi (Montgomery, 2004). Es una de las variantes del diseño experimental factorial clásico, denominado factorial fraccionario. Su finalidad es abaratar costos, reducir el número de experimentos y simultáneamente disminuir los tiempos de los ensayos, sin descuidar la robustez de la respuesta que se consigue, disminuyendo al mínimo su variabilidad (Roy, 2001). Se analizaron tres variables independientes o factores, cada una presentó dos niveles o valores. Las variables estudiadas fueron: humedad de semillas, tamaño de malla (mm) y velocidad de dosificación

del molino (g/min), en los siguientes niveles: 7 y 12%; 0,12 y 0,25 mm; 13,6 y 26,7 g/min, respectivamente. Los ensayos de molienda se realizaron por triplicado, en las SC y SP (Tabla 5.1). La Tabla 5.2 presenta las combinaciones de variables y los niveles con que se realizaron los ensayos.

La variable de salida fue el rendimiento en harina obtenido.

Tabla 5.1. Variables y niveles estudiados.

Niveles	Factores		
	Humedad (%)	Malla (mm)	Velocidad de Dosificación (g/min)
I	7-8	0,12	13,6
II	12-13	0,25	26,7

Tabla 5.2. Matriz de diseño $L_8 (2^7)$

N°Ensayo	H (%)		M (mm)	D (g/min)
	SC	SP		
1	7,1±0,7	6,78±1,0	0,12	13,6
2	7,1±0,7	6,78±1,0	0,12	26,7
3	7,1±0,7	6,78±1,0	0,25	13,6
4	7,1±0,7	6,78±1,0	0,25	26,7
5	12,4±1,0	12,63±0,13	0,12	13,6
6	12,4±1,0	12,63±0,13	0,12	26,7
7	12,4±1,0	12,63±0,13	0,25	13,6
8	12,4±1,0	12,63±0,13	0,25	26,7

H: Humedad; M: Malla; D: Velocidad de Dosificación.

5.3.3.4. Calibración del dosificador de semillas de quinoa.

Para regular la velocidad de dosificación de las SQ, se construyó un dispositivo provisto de una tolva, un cuerpo que posee un rotor ranurado, accionado por un motorreductor eléctrico, una fuente de alimentación eléctrica y un pie que soporta el conjunto y facilita su ubicación sobre el molino (Figuras 5.3 y 5.4).



Figura 5.3. Vista del dosificador, en posición sobre la boca de alimentación del molino.



Figura 5.4. Selector de velocidades del dosificación (RPM)

El motorreductor eléctrico, marca *IGNIS* mod. *MR8-18-1224*, posee una velocidad nominal de 18 rpm, cuando es alimentado con una tensión nominal de 24V. El voltaje de la fuente es regulable entre 0 a 24V, mediante un potenciómetro, que permite variar la velocidad del rotor, de 0 a 32 rpm. Cuerpo, rotor y tolva del dosificador fueron construidos en duraluminio, mientras que las tapas son de teflón. En el diseño del dispositivo se hizo énfasis en utilizar la menor cantidad de piezas posibles, a fin de dotar al equipo de simplicidad y facilidad, a la hora de realizar el mantenimiento y la limpieza del mismo (Lagier *et al.*, 2014).

Para la calibración del dosificador se ajustó el selector de velocidades a valores de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 33 rpm. En cada caso se determinó el peso de semillas dosificadas en 1 min, con 5 repeticiones por cada valor de frecuencia.

Los promedios de peso dosificado se correlacionaron con las frecuencias seleccionadas, observándose una buena correlación lineal para ambos lotes, con valores de R^2 de 0,9974 y 0,9976, para los lotes 2010 y 2011, respectivamente.

5.3.3.5. Molienda de las semillas crudas y precocidas de quinoa. Cálculo del rendimiento.

La molienda se realizó en molino de martillo (marca *Fritsch*), que muele por impacto. La frecuencia fue de 50 Hz y la potencia 1590 W. Se emplearon dos tamaños de malla 0,12 y 0,25 mm.

En cada operación, se emplearon 150 g de semillas. Una vez finalizada la descarga del dosificador, se interrumpió la operación, se retiró el colector del molino y cuidadosamente se cuantificó la harina obtenida en el proceso.

El rendimiento se calculó de la siguiente forma:

Ecuación 5.1.
$$\%R = \frac{H \times 100}{G}$$

Donde:

% R: es el porcentaje de harina obtenido;

G: masa de semillas que ingresaron al molino, en g

H: masa de harina obtenida del molino, en g

El rendimiento en harina de las SC se clasificó en:

- Rendimiento Alto (RA): Porcentaje de harina obtenida superior a 70 %;
- Rendimiento Medio (RM): Porcentaje de harina obtenida entre 50 y 70 % y;
- Rendimiento Bajo (RB): porcentaje de harina obtenida menor al 50%.

El rendimiento en harina de las SP se clasificó en:

- RA: Porcentaje de harina obtenida superior al 45 %;
- RM: Porcentaje de harina obtenida entre 25 y 45% y;
- RB: Porcentaje de harina obtenida menor de 25%.

5.3.3.6. Determinación de la composición química proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa.

La determinación de la composición química proximal de las HC y HP se realizó en una de las muestras obtenidas con RA, RM y RB.

Se tomaron dos réplicas de cada uno de los tres ensayos independiente, por lo que el valor medio se obtuvo a partir de determinaciones realizadas por sextuplicado.

La determinación de proteínas en las HC y HP de quinoa obtenidas en la *Parte 1 y 2* del presente Capítulo se realizó como se describió en la Subsección 2.3.3.1.2, Capítulo 2.

La determinación de cenizas se realizó como se describe en la Subsección 2.3.3.1.3, Capítulo 2.

La determinación del contenido lipídico de las harinas se realizó como se describe en la Subsección 2.3.3.1.4, Capítulo 2.

Los hidratos de carbono totales se determinaron por diferencia como se describe en la Subsección 2.3.3.1.5, Capítulo 2 y los Carbohidratos Disponibles (CD) se calcularon a partir de restar a los hidratos de carbono totales el valor de fibra dietética total (Greenfield & Southgate, 2003).

5.3.3.7. Determinación de fibra detergente ácida (FDA) en harinas crudas y precocidas de quinoa.

La determinación de la FDA se realizó aplicando la técnica desarrollada por Van Soest (1963) citada en García, Infante, & Rivera (1997) y Zumbado Fernández, 2004.

Las mediciones se realizaron en las HC y HP de quinoa que obtuvieron RA y RB. La muestra de cada una de las harinas se conformó partir de las tres muestras de harinas obtenidas de ensayos de molienda independientes y a partir de esta se realizaron los ensayos por duplicado en las HP y triplicado en las HC.

5.3.3.8. Determinación del contenido de fibra dietética total (FDT) en harinas crudas y precocidas de quinoa.

Fundamento y Procedimiento de determinación: La determinación de FDT consiste en un método enzimático, en el que la solubilización de los constituyentes que no forman parte de la fibra se realiza a través del empleo de enzimas específicas que hidrolizan los carbohidratos asimilables y las proteínas. Es un método más eficiente que el empleo de reactivos químicos para la solubilización de los compuestos no asimilables, ya que se asemeja más al proceso fisiológico de degradación de nutrientes en el organismo humano (García *et al.*, 1997; Zumbado Fernández, 2004).

Se empleó la técnica 985.29 (enzimático-gravimétrico) de la AOAC (1990).

Las determinaciones de FDT fueron realizadas en los laboratorios de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires a partir de HC y HP desengrasadas de quinoa y que tuvieron RA, RM y RB durante la molienda.

5.3.3.9. Determinación de almidón dañado (%AD) en harinas crudas de quinoa.

Se denomina “almidón dañado” a la fracción de gránulos de almidón rotos durante el proceso de obtención de harina. La dureza del grano determina, en buena medida la cantidad de AD presente en la harina. Así, granos de textura blanda, ofrecen menor resistencia durante la molienda y por consiguiente el contenido de AD en la harina es menor,

lo contrario ocurre con los granos de mayor dureza. La cantidad de AD en la harina determina su posible destino debido a que afecta la absorción de agua. Absorbe hasta un 100% de su peso en agua, pero también es importante durante la fermentación porque ofrece una mayor cantidad de sustrato para las enzimas amilolíticas. La susceptibilidad del AD a la acción hidrolítica de enzimas amilolíticas ha centrado la atención en la determinación de su contenido por acción enzimática (Belfast, 1974; Hosney (1994), Giroux & Morris (1997) y Bashuk (1998) en Torri *et al.*, 2003; Tester *et al.*, 2006). La dureza del grano, el nivel de acondicionamiento, el tipo de molino y la severidad de la molienda son algunos de los factores que afectan el nivel de AD en granos molidos.

El contenido de AD de las HQ obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda se realizó aplicando la técnica 76-30A de la AACC (2000).

Las determinaciones se realizaron por quintuplicado para cada condición de molienda.

5.3.3.10. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

Las muestras de harina se recubrieron con oro y se examinaron utilizando un microscopio electrónico de barrido *FE-SEM SIGMA* (LAMARX – FAMAF - UNC).

5.3.4. Rendimiento de HC y HP de quinoa tamizada.

Se evaluaron los rendimientos en harina obtenidos del tamizado con tamiz vibratorio (*Zonytest*) durante 15 min, empleando las mallas 70, 100 y 200 ASTM (0,21; 0,15 y < 0,074 mm).

Las determinaciones para analizar el rendimiento de harina luego de tamizarlas se realizaron por octuplicado en las HC y quintuplicado en las HP.

5.3.5. Efecto del tamizado sobre el contenido de cenizas y proteínas de la harina cruda de quinoa.

Las determinaciones de cenizas y proteínas se realizaron por septuplicado tal como se describió en las Subsecciones 2.3.3.1.3 y 2.3.3.1.2 del Capítulo 2, respectivamente.

5.3.6. Determinación de los parámetros de color L*a* y b* en harina cruda y precocida de quinoa.

Los parámetros L*a* y b* se determinaron a partir de las muestras de HC y HP de cada condición de molienda, previa homogeneización de las harinas obtenidas por las tres moliendas independientes (Tabla 5.2). Cada muestra se midió por sextuplicado.

En la Subsección 2.3.2.4 del Capítulo 2 se menciona el equipo empleado en las determinaciones.

5.3.7. Análisis sensorial de las harinas precocidas de quinoa.

Las HP obtenidas luego del tamizado fueron dispersadas en agua, como se indicó en la subsección 4.3.2.2, Capítulo 4 y testeadas sensorialmente para conocer la sensación al paladar. Participó un panel sensorial constituido por 6 jueces semientrenados, quienes emitieron opinión sobre la textura que presentaban las harinas provenientes de las distintas fracciones del tamizado, marcando con una cruz entre las categorías: Arenoso-No Arenoso, emitieron además un breve comentario en el apartado observaciones.

5.3.8. Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó como se describe en la Subsección 2.3.4 del Capítulo 2.

5.4. Resultados y Discusiones

5.4.1. Parte 1.

5.4.1.1. Contenido de proteínas en harina cruda y precocida de quinoa obtenidas sin control de la humedad y velocidad de dosificación del molino.

En el Capítulo 4 se concluyó que la pérdida de proteínas durante la precocción (VP: 10-11 min) de las SQ fue baja y que el secado de las semillas tampoco afectó en contenido proteico (Figura 4.15).

Tabla 5.3. Efecto del tratamiento (Precocción, Secado y/o Molienda) sobre el contenido de proteínas de semillas y harina de quinoa.

Semillas de quinoa						
Tratamiento	- Lavadas - Crudas - Sin Secar	- Lavadas - Crudas - Secadas	-Lavadas -Precocidas -Sin Secar	- Lavadas -Precocidas - Secadas	HC	HP
% P	14,68±0,31 b	14,63±0,14 b	14,24±0,51 b	14,28±0,26 b	13,72±0,20 a	13,26±0,17 a

Fila con una letra común indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,01$) (Ver Anexo 5, Tabla 5.3).

Sin embargo, cuando se analizaron en conjunto el efecto del tratamiento: precocción (VP: 10-11 min), secado y molienda sobre el contenido de proteínas de las semillas y harinas, se observó que este último tuvo un efecto significativo (p -valor=0,0006) (Tabla 5.3). El Test de comparaciones múltiples evidenció que el proceso de molienda fue responsable de las diferencias significativas observadas para el contenido de proteínas entre las harinas y las semillas crudas y semillas precocidas de quinoa de las que provinieron. La operación de molienda produjo una reducción significativa en el contenido de proteínas de las harinas (Tabla 5.3). Durante esta etapa, parte del material es retenido dentro del molino y algunos

componentes nutricionales podrían haber permanecido allí. Al parecer, las condiciones de secado y la humedad final de las semillas afectan el rendimiento (Imoudu & Olufayo, 2000).

5.4.2. Parte 2.

5.4.2.1. Cinética de secado de semillas crudas y precocidas de quinoa.

5.4.2.1.1. Ensayo de Secado 1 (ES1).

Semillas Crudas

La temperatura de secado fue igual a la empleada por Pajarito Parker (2005), aunque en el trabajo del mencionado autor se realizó la operación en una estufa con circulación de aire forzado.

El contenido de humedad de las SQ luego de someterlas al proceso de desamargado por FCA se presentó en la Tabla 3.3 (Capítulo 3).

La Figura 5.5 muestra la curva de secado de SC de quinoa en las que el porcentaje de humedad en el momento de iniciada la operación de secado fue de 43,10%.

El tiempo de secado (TS) tuvo un efecto significativo sobre el contenido de humedad de las semillas durante el proceso (p -valor $<0,0001$) (*Ver Anexo 5, Tabla 5.4*).

La reducción del contenido de agua de las SQ fue lineal entre 0 y 20 min, con una velocidad de secado constante, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los cinco tiempos (0, 5, 10, 15 y 20 min), a pesar de corresponderse con los valores medios que mostraron las dispersiones más amplias. Hasta los 20 min el agua es removida de las semillas con facilidad por corresponderse a la humedad libre. A partir de allí, entre los 25 y 35 min, se alcanzaría un valor crítico o cercano al crítico, donde las diferencias en el contenido de humedad entre los tres tiempos no fueron de importancia estadística (Tabla 5.4.) mostrando una disminución en la velocidad de secado, posiblemente por acercarse a la humedad de equilibrio, donde ya ha sido removida la humedad libre y sólo queda el agua ligada al sólido.

Si bien el secado de las SQ a una temperatura mayor aceleraría el proceso (Fellows, 1994; Gely & Santalla, 2007), con un consiguiente ahorro energético y de tiempo, se correría el riesgo de modificar alguna/s característica físico-química de las semillas, por ejemplo, dado el elevado contenido de humedad inicial y la relativa baja temperatura de gelatinización del almidón (Lindeboom *et al.*, 2005), este podría gelatinizar durante la etapa de secado, afectando la calidad del producto final.

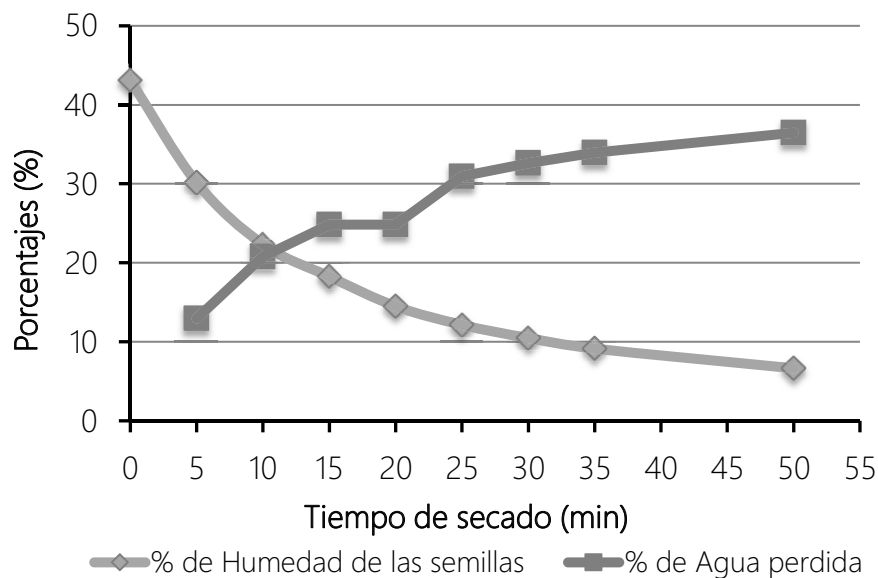


Figura 5.5. Cinética de secado de semillas crudas de quinoa.

Semillas Precocidas

En la Figura 5.6 se representa la cinética de secado de las SP de quinoa. El proceso en este caso se inició a partir de un contenido de humedad superior, ya que las semillas, además del agua absorbida durante la etapa de desamargado, contienen agua absorbida por el proceso de precocción. Este proceso incrementó su contenido de humedad alrededor de un 8% (Tabla 5.4).

Durante el secado de las SP, se observó una mayor dificultad para remover la humedad libre que en el caso de las SC, evidenciado por una menor velocidad de secado. Esta característica podría ser atribuida a dos factores: por un lado, el mayor contenido de humedad inicial (50,13%) podría haber incrementado la humedad del aire reduciendo su capacidad para eliminar el agua de las semillas y por otro, un mayor contenido de agua ligada como consecuencia del proceso de gelatinización durante la precocción.

Tabla 5.4. Contenido de humedad de semillas crudas y precocidas de quinoa secadas a diferentes tiempos. *Ensayo de Secado 1.*

Tiempo (min)	% Humedad	
	SC	SP
Lavado	43,10±1,42 a	43,18±2,18
Precocción	-	50,13±2,00 a
5	30,15±4,48 c ^b	40,26±5,47 a ^b
10	22,33±3,68 d ^c	40,20±1,83 a ^b
15	18,26±3,37 e ^d	37,57±1,97 b ^c
20	14,48±2,38 f ^e	35,08±2,38 b ^d
25	12,15±1,88 g ^f	30,90±2,43 c ^e
30	10,48±0,94 g ^f	28,06±2,24 c ^f
35	9,14±1,34 g ^f	24,40±2,08 d ^g
40	-	23,28±2,34 e ^g
45	-	20,19±1,97 e ^h
50	6,65±1,12 h ^g	18,76±2,00 e ^h
55	-	18,11±2,78 h
60	-	14,70±2,02 i
65	-	13,94±1,84 i
70	-	11,99±1,74 j
75	-	10,60±1,79 j

Medias con una letra común en la tabla indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Tabla 5.3.C). Superíndices con una letra común en cada columna indica que las medias del porcentaje de Humedad a cada tiempo de secado no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Tabla 5.4.A y Tabla 5.4.B).

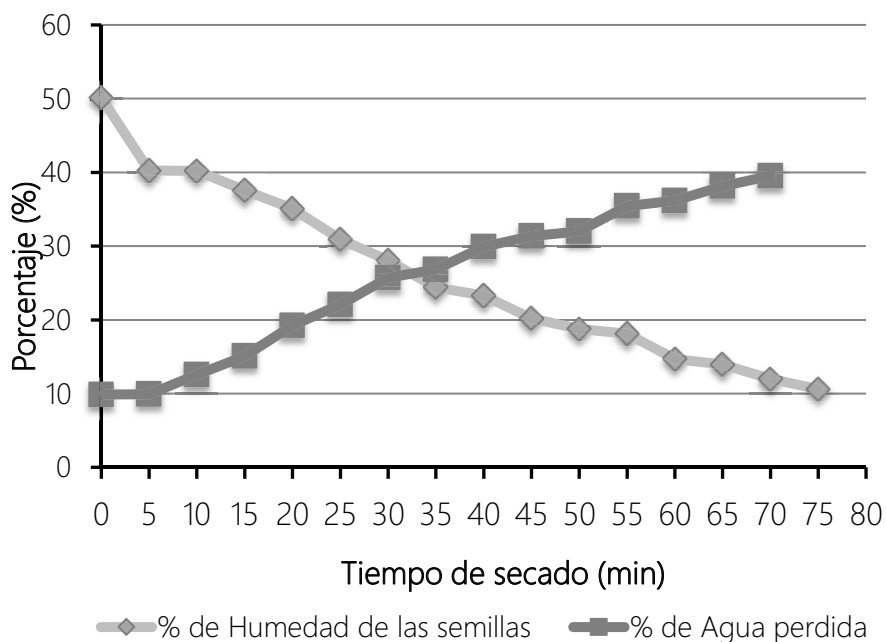


Figura 5.6. Cinética de secado de semillas precocidas de quinoa.

Estas diferencias en las respuestas de secado entre SC y SP de quinoa coincide con lo planteado por Fellow (1994), quien sostiene que las características estructurales de los granos, así como sus constituyentes (principalmente proteínas y almidón) determinan la proporción de agua ligada influye en el secado.

Las SP presentaron un contenido de humedad de alrededor del 31% a los 25 min de secado, valor igual al de las SC a los 5 min de iniciado el proceso. Entre 5 y 10 min de secado, el contenido de agua de estas últimas descendió de 30% a 22% (Tabla 5.4); mientras que en las SP se redujo la humedad de 31 a 28% entre los 25 y 30 min. Estos resultados ponen en evidencia la necesidad de emplear un tiempo considerablemente mayor de secado de las SP hasta alcanzar una humedad de alrededor del 9% (Tabla 5.4).

Tanto el TS como el tratamiento (SC o SP) y la interacción de ambas variables presentaron un efecto significativo sobre la humedad de las semillas (p -valor $<0,0001$) (Ver Anexo 5, Tabla 5.4.C).

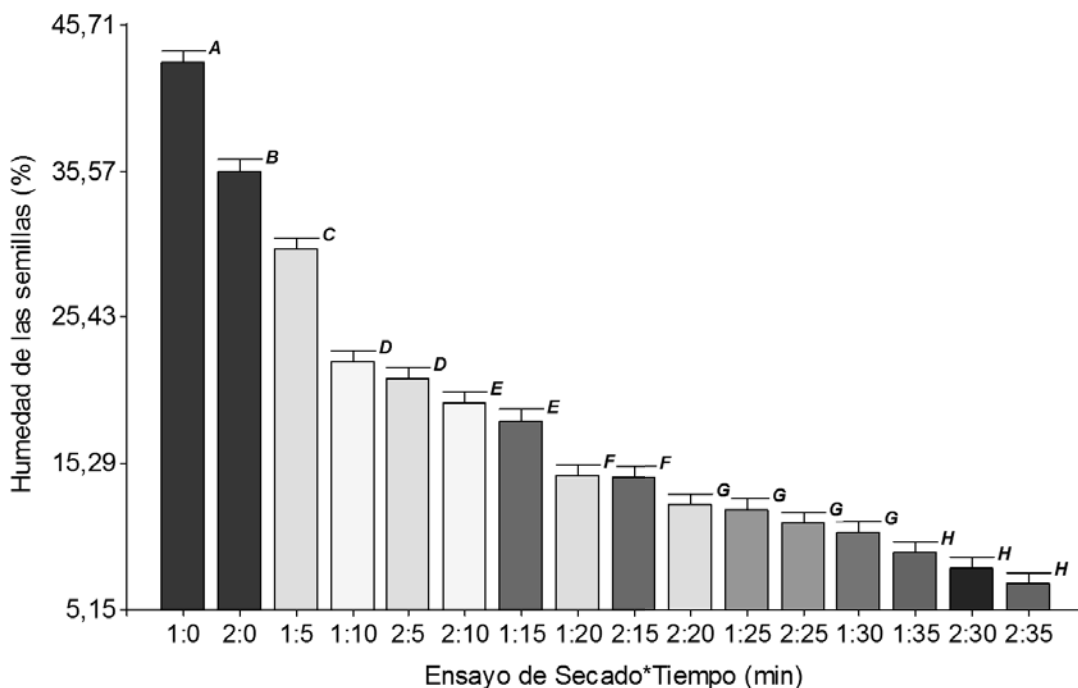
Dado que los resultados del ensayo mostraron dispersiones elevadas, se decidió realizar un segundo ensayo.

5.4.2.1.2. Ensayo de Secado 2.

Comparación de los resultados entre los ES 1 y 2 del secado de las semillas crudas.

En la Figura 5.7. se presentan los resultados obtenidos luego de analizar diferencias estadísticas en el contenido de humedad en las SC a partir de los ES 1 y 2.

En el ES 2, las SC fueron centrifugadas luego del desamargado. El contenido de humedad de las semillas luego de desamargarlas y centrifugarlas fue de $36,12 \pm 0,79\%$. Por lo que una etapa previa al secado en lecho fluidizado u otro medio que incluya el centrifugado de las semillas sería recomendable para reducir alrededor de un 10% el contenido inicial de humedad.



1: Ensayo de Secado 1; 2: Ensayo de Secado 2

Barras con una letra común indica que las medias no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.7.C).

Figura 5.7. Comparación de la cinética de secado de semillas crudas de quinoa en los ES 1 y 2.

Se observó un efecto significativo del *método de secado*, el tiempo aplicado y la interacción de ambas variables, sobre el contenido de humedad de las SC ($p < 0,0001$) (Ver Anexo 5, Figura 5.8).

Como era de esperar el ES1 arrojó valores medios para el contenido de humedad, superiores a los del ES 2 (Ver Anexo 5, Figura 5.8.A). A excepción de los valores a 25 min de secado, en el resto de los tiempos, hubo diferencias significativas entre los ES 1 y 2 (Figura 5.8) (Ver Anexo 5, Figura 5.8.C). Por encima de los 30 min, no se observaron diferencias significativas entre 30 y 35 min de secado, para ambos métodos de secado (Ver Anexo 5, Figura 5.8.B).

A partir de las curvas antes expuestas es posible establecer, dentro de los Intervalos de Confianza (95%) encontrados, tiempos de secado que permitan predecir la humedad final de las SC, si estas son sometidas a las condiciones y descriptas (Tabla 5.5).

Tabla 5.5. Contenido de humedad de las semillas crudas de quinoa secadas a diferentes tiempos. Intervalos de Confianza (95%).

Tiempo de secado (min)	LI (95%)	LS (95%)
0	37,35	41,34
5	22,62	28,75
10	19,41	22,41
15	14,69	17,89
20	12,41	14,50
25	10,87	12,42
30	8,43	10,10
35	7,24	8,90

LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior (Ver Anexo 5, Tabla 5.4)

Las SC de quinoa empleadas en el ensayo para evaluar rendimiento en la molienda, fueron secadas durante 25 min, para obtener “humedad alta” y por 35 min, para conseguir una “humedad baja”. Procediendo en esas condiciones, se obtuvieron las humedades que se detallan en la Tabla 5.2

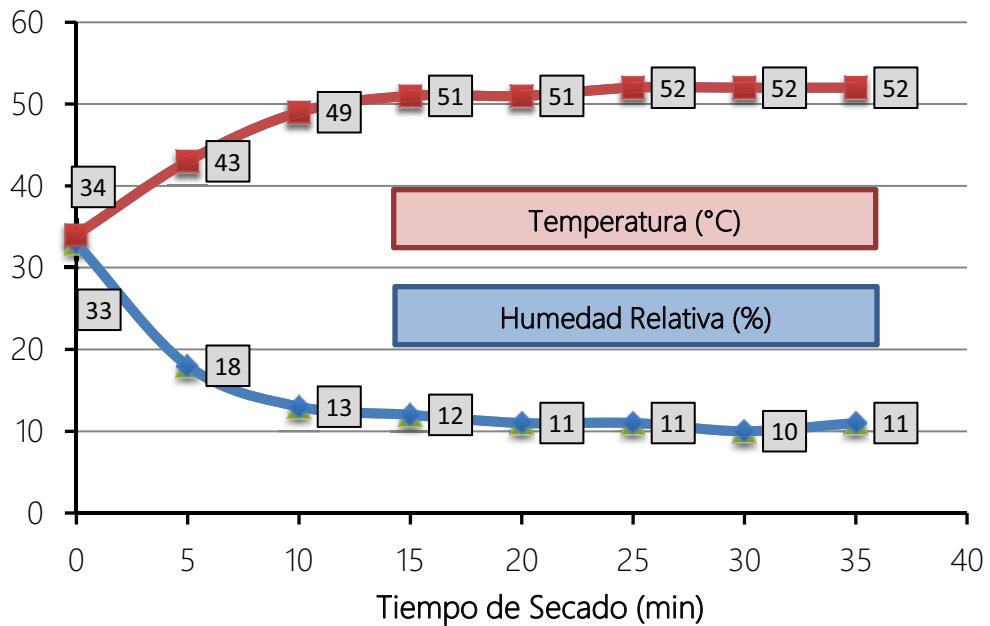
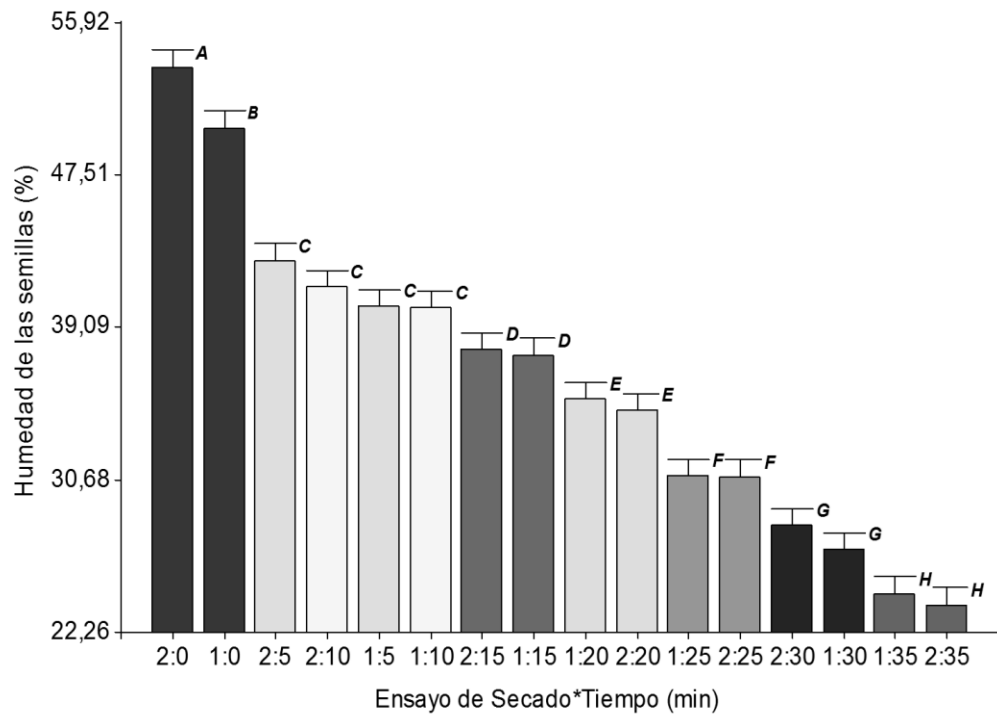


Figura 5.8. Curva de Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%) durante el secado de las semillas crudas de quinoa a 50°C.

Como muestra la Figura 5.8, a los 10 min de secado se alcanzan 49°C, a partir de allí asciende hasta los 52°C valore que alcanza a los 25 min, para luego mantenerse constante hasta el final.

A partir de los 10 min, la temperatura de la operación fue eficientemente controlada. Este parámetro es de gran importancia ya que si no se tiene un control adecuado de la temperatura de secado, el deterioro ocasionado a los granos o el gasto energético pueden ser muy importantes. Por un lado, si la temperatura fuera más baja a la estimada, la cantidad de humedad que se elimina disminuye por lo tanto los tiempos de secado serán mayores y por otro si la temperatura subiese más de lo previsto, podrían producirse modificaciones indeseables en la composición de las semillas (Mendoza *et al.*, 1985 en Vázquez Chávez & Vicarra Mendoza, 2008).

Comparación de los resultados entre los ES 1 y 2 del secado de las semillas precocidas.



1: Ensayo de Secado 1; 2: Ensayo de Secado 2

Barras con una letra común indica que las medias no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(Ver Anexo 5, Figura 5.9.B)

Figura 5.9. Comparación de la cinética de secado de semillas precocidas de quinoa en los ES 1 y 2.

A diferencia de las SC, en las SP, el centrifugado no constituiría una operación útil previo al secado. En los ensayos realizados, no se observó separación de agua durante el centrifugado. Los resultados del ANAVA mostraron que no hubo diferencias significativas entre los porcentajes de humedad de las semillas, considerando las interacciones (p -valor=0,2904) entre método y tiempo de secado y que si bien hay un cierto efecto del primero (p -valor=0,0479), la magnitud de las diferencias entre ambos métodos es pequeña

(Ver Anexo 5, Figura 5.9), evidenciándose exclusivamente a tiempo 0. Por el contrario, el tiempo de secado sí mostró diferencias claras entre las medias (Ver Anexo 5, Figura 5.9). El contenido de humedad de las SP fue significativamente diferentes a todos los tiempos analizados, excepto entre los 5 y 10 min (Ver Anexo 5, Figura 5.9.A).

Como consecuencia del prolongado tiempo de secado que requieren las SP para alcanzar una “humedad baja”, se extendió el secado, alcanzándose esa condición de humedad a los 95 min, manteniendo las mismas condiciones de proceso ($6,78 \pm 1,0$).

Tabla 5.6. Contenido de humedad de semillas crudas y precocidas de quinoa secadas a diferentes tiempos. ES 2.

Tiempo (min)	% Humedad	
	SC	SP
Lavado	43,10±1,42	44,06±1,53
Centrifugado	35,59±0,67 d ^a	-
Precocción	-	53,47±1,15 a ^a
5	21,22±3,98 h ^b	42,79±3,08 b ^b
10	19,49±1,09 h ^b	41,34±1,57 b ^b
15	14,32±1,38 i ^c	37,86±5,94 c ^c
20	12,42±1,10 j ^d	34,51±1,52 d ^d
25	11,15±1,04 j ^d	30,86±1,49 e ^e
30	8,06±1,35 k ^e	28,17±1,57 f ^f
35	7±1,17 k ^e	23,79±1,29 g ^g
40	-	20,57±1,82 h ^h
45	-	17,81±0,8 i ⁱ
50	-	17,62±0,83 i ⁱ
55	-	17,90±4,20 i ⁱ
60	-	16,61±0,98 i ⁱ
65	-	14,35±0,5 j ^j
70	-	12,95±0,78 j ^j
75	-	10,99±1,07 k ^k

Medias con una letra común en la tabla indica que no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Tabla 5.6.C). Superíndices con una letra común en cada columna indica que las medias del porcentaje de Humedad no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) entre los TS (Ver Anexo 5, Tabla 5.6.A y Tabla 5.6.B).

Las SP de quinoa empleadas en el ensayo para evaluar rendimiento en la molienda, Subsección 5.3.3.5, del presente capítulo, fueron secadas para obtener “humedad alta” durante 70 min y “humedad baja” durante 95 min.

A diferencia de las SC, las SP podrían secarse a mayor temperatura, dado que la precocción ya habría modificado al almidón y las proteínas; se presume que un tiempo de calentamiento adicional no provocaría cambios ulteriores. El aumento en la temperatura del

aire, favorece el secado, al aumentar la evaporación del agua, especialmente a temperaturas entre 80 y 100 °C (Vázquez Chávez & Vizcarra Mendoza, 2008).

Tabla 5.7. Contenido de humedad de las semillas precocidas de quinoa secadas a diferentes tiempos. Intervalos de Confianza (95%).

<i>TS (min)</i>	LI (95%)	LS (95%)
0	50,64	52,96
5	39,29	43,76
10	39,88	41,66
15	35,58	39,86
20	33,83	35,80
25	29,90	31,84
30	26,38	28,64
35	23,25	24,94
40	19,17	21,97
45	17,19	18,42
50	16,98	18,26
55	15,86	17,36
60	15,55	17,86
65	13,97	14,73
70	12,35	13,55
75	10,16	11,81

LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior (Ver Anexo 5, Tabla 5.7)

Si no se tiene un buen control de la temperatura de secado, el deterioro ocasionado a los granos puede ser muy importante, ya que la velocidad de secado disminuye con el tiempo, prolongando el proceso (Mendoza *et al.* (1985) en Vázquez Chávez & Vizcarra Mendoza, 2008) y sobrecalentando la superficie externa de los granos.

5.4.2.2. Rendimiento harinero de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa.

Hubo un efecto significativo de las variables estudiadas (p-valor <0,0001) y sus interacciones sobre el rendimiento en harina de la molienda de SC (Tabla 5.8)

De los cuatro tipos de interacciones posibles (Humedad: Malla; Humedad: Velocidad de Dosificación; Tamaño de malla: Velocidad de Dosificación y por último la triple interacción Humedad: Malla: Velocidad de Dosificación), tres de ellas tuvieron un efecto más marcado sobre la variable de salida (p-valor <0,0001). La interacción Humedad: Malla, fue también significativa, pero con un p-valor más alto: 0,0078 (Ver Anexo 5, Tabla 5.8.A).

Tabla 5.8. Rendimiento en harina de la molienda de semillas crudas y precocidas de quinoa.

Condiciones de molienda	% de Rendimiento		Clasificación del rendimiento	
	HC	HP	HC	HP
<i>H1:M1:D1</i>	27,86±2,90 b	18,17±4,48 a	Bajo	Bajo
<i>H1:M1:D2</i>	19,23±1,38 a	17,97±1,09 a	Bajo	Bajo
<i>H1:M2:D1</i>	61,17±5,63 c	56,17±1,69 d	Medio	Alto
<i>H1:M2:D2</i>	68,96±0,50 d	47,16±0,77 d	Medio	Alto
<i>H2:M1:D1</i>	59,19±2,56 c	27,88±2,92 b	Medio	Medio
<i>H2:M1:D2</i>	23,10±2,44 a	39,78±0,77 c	Bajo	Medio
<i>H2:M2:D1</i>	73,60±2,14 e	37,26±1,71 c	Alto	Medio
<i>H2:M2:D2</i>	77,50±2,52 e	38,41±2,07 c	Alto	Medio

Medias con una letra común en la misma columna indica que las medias no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Tabla 5.8.A y 5.8.B).

En el caso de la molienda de SP, las variables humedad y velocidad de dosificación no tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de harina (p -valor=0,3125 y 0,3133 respectivamente), lo contrario ocurrió con el tamaño de malla (p -valor <0,0001) (Ver Anexo 5, Tabla 5.8.B).

Por otro lado, las interacciones dobles también mostraron influencia en el rendimiento (p -valor <0,0001) pero no así la triple interacción (p -valor=0,6074) (Ver Anexo 5, Tabla 5.8.B).

El análisis del efecto de cada una de las variables sobre el rendimiento de HC mostró que, humedad y tamaño de malla en el Nivel II (malla 0,25 mm y humedad 12,4%) arrojaron rendimientos mayores en harina, que en el Nivel I (Ver Anexo 5, Tabla 5.8.A). Mientras que la velocidad de dosificación en ambos niveles, manteniendo las otras dos variables en nivel dos, parece no ejercer influencia. Un mayor contenido de humedad podría haber ablandado el perispermo y endospermo haciéndolo más susceptible a la rotura por acción de los martillos, reduciendo a su vez la potencia empleada en la operación. La humedad de los granos afecta en gran medida sus propiedades mecánicas, reduciendo su resistencia al quebrantamiento (Zoerb & Hall en Fang & Campbell, 2003).

Castro Montero (2010) informó que el tamaño de la malla era la variable más influyente en el porcentaje de rendimiento, sin embargo, a diferencia de los resultados abordados por el citado autor, el mayor rendimiento (38%) se obtuvo empleando la malla de menor tamaño.

Como en el caso de la molienda de SC, la triple interacción fue significativa, el análisis se realizará sobre esta. Los rendimientos más altos se obtuvieron cuando las variables tamaño de malla y humedad se encontraron en el Nivel II (malla 0,25 mm y humedad 12%), mientras que la velocidad de dosificación no afectó la variable de salida

mientras las otras se mantuvieron constantes (Tabla 5.2), siendo el rendimiento 73,6% y 77,5% respectivamente. Reynaga *et al.* (2013) obtuvieron rendimientos en harinas entre 50 y 70% de 13 ecotipos de quinoa Real empleando una malla de mayor apertura (0,35 mm) que la utilizada en este trabajo y de haber molido dos veces el producto final para mejorar la granulometría de la harina. Reynaga y colaboradores no informan la humedad con la que los granos fueron molturados ni velocidad de alimentación del molino. Romo *et al.* (2006) realizaron la molienda de los granos con un molino de martillo e informaron un mayor rendimiento medio en harina (95,72%), sin embargo lo mencionados autores emplearon una malla de mayor apertura (1 mm).

Pajarito Parker (2005) y Castro Montero (2010) emplearon una malla notablemente más chica (60 micrones) que la utilizada en el presente trabajo y humedades del $15\pm 2\%$, obteniendo rendimiento más altos (94%). Con trigo, la industria harinera suele obtener entre un 72-75% de rendimiento, aunque en ocasiones se busquen harinas muy blancas y limpias de salvado, para lo que puede ser necesario reducir el rendimiento al 65-70% (Pallarés *et al.*, 2007).

Las discrepancia con otros trabajos de investigación pone en evidencia la participación de otros factores, además del tamaño de la malla y que influyen de manera directa en el rendimiento, alguno de estos factores podrían estar relacionados a la dureza de los granos o a su contenido de fibra dietética.

Por otro lado, los menores rendimientos se obtuvieron con las variables tamaño de malla en el nivel I, Humedad en el Nivel I y II, y la velocidad de dosificación en el nivel II. El rendimiento en esas condiciones fue de 19,23% y 23,10% respectivamente.

En el caso de las SP, sólo la variable tamaño de malla fue la que presentó efecto significativo ($<0,0001$) sobre el rendimiento de harina. Así, este fue mayor, cuando se encontró en el Nivel II, al igual que en la molienda de SC. Por otro lado, la triple interacción no fue significativa ($p\text{-valor}=0,6074$), por lo tanto, se analizan a continuación las interacciones dobles que arrojaron los mayores y menores rendimientos.

Cuando la humedad de las SP de quinoa se encontró en nivel I se obtuvieron rendimientos altos o bajos, según la variable malla se encuentre en el Nivel II o I respectivamente.

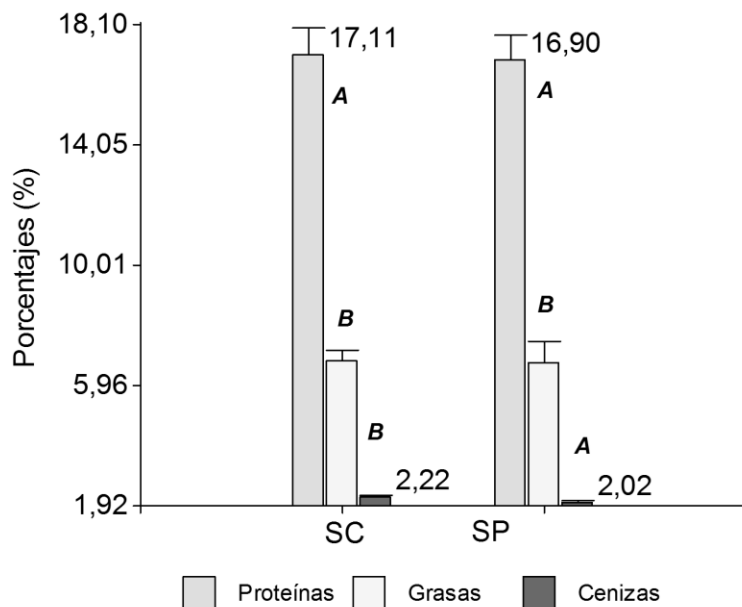
Por otro lado, en la interacción malla: velocidad de dosificación, se observó que cuando el tamaño de malla se encontró en el nivel II y la velocidad de dosificación en el nivel I, se obtiene un mayor rendimiento, pero si la malla se encuentre en el nivel I, ocurre lo contrario.

Las HP tuvieron rendimientos más bajos que las HC (Tabla 5.8). Esta diferencia podría ser atribuida a una mayor dureza del grano en las SP ocasionada por la presencia de

almidón retrogradado, que como consecuencia del fenómeno presentaría zonas altamente rígidas por la presencia de moléculas de amilosa fuertemente alineadas.

El análisis de las interacciones refuerza la idea de que el tamaño de la malla es la variable de mayor impacto, en la obtención tanto de harina cruda como precocida.

5.4.2.3. Composición química-proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa.



Barras con una letra común entre proteínas, grasas o cenizas para SC y SP de quinoa indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.10).

Figura 5.10. Comparación en el contenido de grasas, proteínas y cenizas entre las semillas crudas y precocidas de quinoa empleadas en el ensayo de molienda.

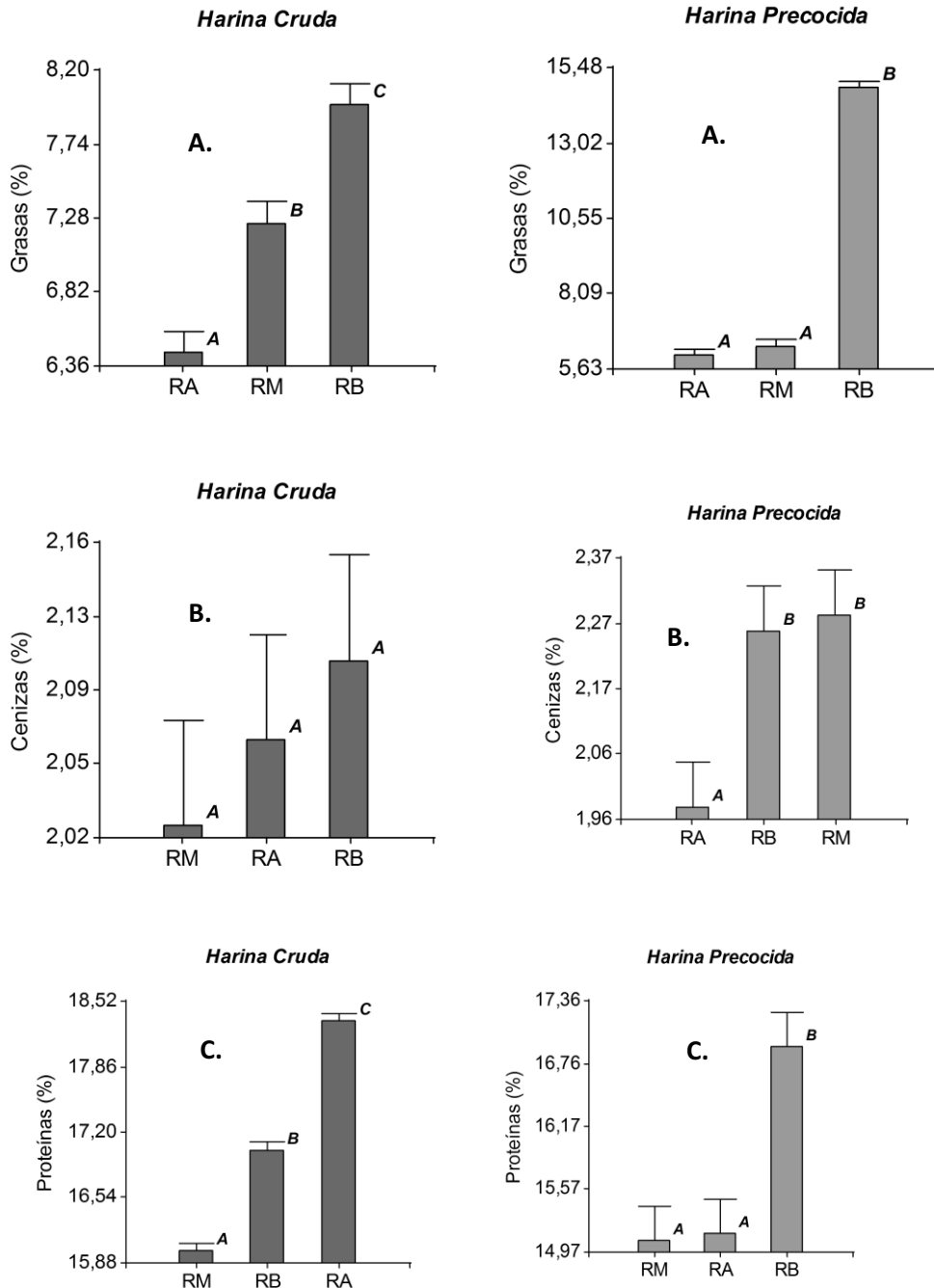
Las condiciones de molienda de las SQ tuvieron un efecto significativo no sólo en el rendimiento en harina, sino también sobre la composición química proximal de estas. La ejecución del ensayo para evaluar el rendimiento de la molienda se llevaron a cabo con SC y SP de quinoa que no tuvieron diferencias significativas en el contenido de proteínas y grasas (p -valor=0,6927 y 0,7871, respectivamente), pero sí en el de cenizas (p -valor=0,0014) (Figura 5.10).

La Figura 5.10 fue construida a partir de los datos de la composición proximal de las SQ y SQ desamargadas y precocidas del lote 2011, Tablas 3.2, Capítulo 3 y 4.12 del Capítulo 4.

Contenido de proteínas, grasas y cenizas en las harinas de quinoa obtenidas con rendimientos altos, medios y bajos.

Harinas Crudas

El contenido de proteínas de las HC presentó diferencias significativas entre aquellas obtenidas con RA, RM o RB. El mayor contenido proteico lo obtuvo la HC obtenida con RA y fue de $18,32 \pm 0,27$, seguido por la HC obtenida con RB ($17,02 \pm 0,14\%$) y por último la HC que tuvo RM ($16,00 \pm 0,18\%$) (Figura 5.11. C).



Barras con una letra común en cada gráfico (A, B o C) indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). (Ver Anexo 5, Figura 5.11.A.B y C).

Figura 5.11. A. Contenido de Grases. **B.** Cenizas. **C.** Proteínas. Harinas crudas y precocidas obtenidas con RA, RM y RA

A diferencia de las proteínas, el contenido de grasa de las HC fue mayor cuanto menor fue el rendimiento de harina en la molienda ($7,98\pm 0,22\%$) y fue significativamente diferente entre las HC con RA ($6,44\pm 0,48\%$), HC con RM ($7,25\pm 0,20\%$) (Figura 5.11. A). Por último, el contenido de cenizas no fue afectado por las condiciones de molienda (p -valor= $0,5549$), al menos en las harinas analizadas (Figura 5.11.C).

Harinas Precocidas

En las SP, las condiciones de molienda tuvieron un efecto significativo en el contenido de proteínas, grasas y cenizas de las harinas (p -valor $< 0,0001$ en grasas y proteínas y $0,0174$ en cenizas). El mayor contenido proteico y de grasas lo presentó la harina que se obtuvo con RB, siendo de $16,93\pm 0,37\%$ el contenido de proteínas y $14,82\pm 0,69\%$ el de grasas (Figuras 5.11.C y A, respectivamente). Como muestra la Figura 5.11.C y A, en las HP obtenidas con RA y RM, los contenidos proteicos fueron $15,15\pm 0,77\%$ y $15,08\pm 1,06\%$, respectivamente, no siendo diferentes entre ellos y el contenido grasa fue de $6,08\pm 0,49$ en las HP de RA y $6,38\pm 0,36\%$ en las harinas con RM.

Con las cenizas ocurrió algo semejante a lo acontecido con las proteínas y las grasas, ya que las harinas con RB y RM tuvieron los mayores porcentajes de cenizas, $2,25\pm 0,22\%$ y $2,28\pm 0,19\%$ respectivamente. Fue menos significativa la diferencia entre las harinas obtenidas con los tres tipos de rendimiento (p -valor= $0,0174$ en cenizas), y para RA el contenido de fue de $1,98\pm 0,09\%$

Las tendencias en los contenidos de proteínas en las HC y HP, no mostraron las mismas tendencias. Así, mientras para las HC el mayor porcentaje fue en las de rendimiento alto, para las precocidas ocurrió lo contrario. Esto podría ser consecuencia de la mayor retención de almidón y/o lípidos en la cámara del interior del molino, con el consecuente aumento proporcional de los otros constituyentes.

5.4.2.5. Contenido de fibra dietética total (FDT), fibra detergente ácida (FDA) y carbohidratos disponibles (CD) en harina cruda y precocida.

Tabla 5.9. A y B. Hidratos de Carbono Totales, Fibra Detergente Ácida, Fibra Dietética Total y Carbohidratos Disponibles en HC y HP de quinoa.

A. Harina Cruda

Clasificación del Rendimiento	HC			
	H de C	FDT	FDA	CD
<i>RA</i>	$73,17\pm 0,89$	$8,82\pm 0,84$	$3,57\pm 0,18$	$64,35\pm 1,73$
<i>RM</i>	$74,69\pm 0,55$	$8,16\pm 0,29$	-	$66,53\pm 0,84$
<i>RB</i>	$72,90\pm 0,37$	$8,59\pm 0,45$	$2,72\pm 0,32$	$64,31\pm 0,82$

B. Harina Precocida

Clasificación del Rendimiento	HP			
	H de C	FDT	FDA	CD
<i>RA</i>	76,79±1,35	9,81±0,51	6,00±0,35	66,98±1,86
<i>RM</i>	76,26±1,61	9,36±0,03	-	66,9±1,64
<i>RB</i>	66,00±1,28	9,88±0,58	5,00±0,40	56,12±1,86

El contenido de hidratos de carbono totales fue similar o ligeramente superior (entre un 1 y 3% superior) a lo publicado para quinoa por diferentes autores en granos y harinas (Ahamed *et al.*, 1998; Galwey, 1993; Jancurová *et al.*, 2009; Repo Carrasco *et al.*, 2003; Ruales & Nair, 1994; Koziol, 1992).

Los carbohidratos disponibles o glucémicos, hacen referencia a todos a los mono y disacáridos que se sabe que tienen actividad glucogénica en las personas y los polisacáridos (almidón y almidones parcialmente hidrolizados y glucógeno) hidrolizados por las secreciones endógenas del aparato digestivo humano (Greenfield & Southgate, 2003)

No se observó una tendencia clara de las condiciones de molienda sobre el contenido de FDT de las HC y HP de quinoa, aunque las FDA parecen prevalecer en las harinas de alto rendimiento, donde se empleó una malla de 0,25 mm. Esto coincide con lo publicado por Vázquez Ovando *et al.* (2015). Los mencionados autores analizaron entre otras cosas el contenido de FDA de diferentes fracciones de harinas de chía, luego de tamizarlas y encontraron que al disminuir el tamaño de partícula, también se reducía el contenido de fibra.

A pesar de no establecerse con claridad la tendencia en el contenido de FDT entre harinas obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda, las HP tuvieron un contenido mayor de fibras que las HC, encontrándose en la primera entre 9,4 y 9,9% para FDT, y entre 5 y 6% para FDA, mientras que para las HC fue 8,2-8,8% para FDT y 2,7-3,6% para FDA (Tablas 5.10.A y B). El mayor contenido de FDT en las HP de quinoa podría deberse a la formación de AR tipo 3 (retrogradado) durante el proceso de precocción, enfriamiento y secado. El almidón, componente mayoritario de las SQ, al igual que otros almidones experimenta notables transformaciones como consecuencia de la cocción. Por un lado, el proceso de gelatinización que lo vuelve susceptible a la degradación por las enzimas presentes en el tracto gastrointestinal humano, produciendo un efecto directo sobre el índice glucémico del alimento y por otro, hay que considerar también el fenómeno de retrogradación del almidón que puede conducir a la formación de AR. La amilosa retrogradada constituye una forma de AR (III) y por tal motivo puede ser considerado como

una FD. Por lo tanto, los efectos indeseables sobre la glucemia post prandial se podrían encontrar disminuidos por efecto del AR (Henry & Chapman, 2002).

Los resultados relativos al contenido de FD entre HC y HP de quinoa, si bien se trataron de métodos de cocción diferentes, no presentaron la misma tendencia que la observada por Ruales & Nair (1994) quienes informaron que el hervido y el autoclavado de las SQ producen una reducción significativa de la FDT por solubilización en el medio de cocción, en el primer método y por despolimerización de las fracciones de fibra en el segundo.

El contenido de FDT de las HQ analizadas fue inferior a lo publicado por Repo Carrasco & Serna (2011) para cuatro variedades, las cuales superaron el 13%, y en las HP, se asemejó el contenido de FDT a lo informado por Ligarda Samanez *et al.* (2012), el cual fue de 10,4%.

5.4.2.6. Rendimiento de harina tamizada.

Como se mencionó en el Capítulo 4 la harina obtenida por molienda directa de las SQ precocidas (VP: 10-11 min) y que atraviesa la malla de 0,25 mm, si bien presentó una óptima dispersión, se mostró arenosa en el paladar, lo que resultó un producto no agradable sensorialmente. Por otro lado, la HP obtenida empleando una malla de 0,12 mm (Subsección 5.3.3.5. del presente Capítulo) a pesar de ser de adecuada dispersabilidad y sensación al paladar, presentó un bajo rendimiento. Estos resultados motivaron el análisis del rendimiento del tamizado luego de obtener las harinas integrales, de modo que el producto resultante de la operación presente óptimas características de textura.

Las pruebas sensoriales realizadas con HC y HP tamizadas indicaron que la mejora de la textura es inversamente proporcional a la granulometría de la harina, y que como es de esperar al reducirse la granulometría por empleo de una malla de menor apertura, el rendimiento cae notablemente.

El efecto de la granulometría de la HC de quinoa sobre la calidad de la textura en galletas elaborados a partir de ella fue analizada por Barboza *et al.* (2010) quienes afirmaron que la harina integral de quinoa retenida en las mallas de 0,21 y 0,15 mm (70 y 100 ASTM) no fue apta para su uso en galletería, no sólo por brindar una masa quebradiza y poco maleable, sino también por otorgar una textura y sabor poco agradables sensorialmente. La aceptación mejoró notablemente al elaborarse las galletas con la harina que atravesó la malla de 0,15 mm y fue retenida en el colector. En un estudio realizado por Bergesse *et al.* (2015) sobre el sabor característico de la harina integral de quinoa, se analizaron sensorialmente HQ de distintas granulometrías. Aquellas con menor tamaño de partículas (< 0,07 mm) tuvieron mayor aceptación que las que tuvieron tamaños de partícula entre 0,07 y 0,15 o > a 0,15 mm.

Tabla 5.10. Distribución del tamaño de partículas en harinas crudas y precocidas de quinoa durante el tamizado.

<i>Malla ASTM</i>	HC	HP
70	16,25±1,02	31,83±3,27
100	24,32±1,81	41,15±3,58
200	32,53±4,27	23,38±2,57
<i>Ciego</i>	40,85±5,91	4,34±2,28

Como se muestra la Tabla 5.10, el rendimiento del tamizado de las HC y HP fue diferente entre ellas, poniendo en evidencia el efecto de la precocción. Las HC tamizadas tuvieron rendimientos más altos que las HP en las mallas de menor apertura, indicando que durante la molienda las SC permiten una mayor reducción de tamaños. Estas diferencias podrían deberse a una mayor dureza de las semillas, ejerciendo una resistencia mayor a los fenómenos de rotura, dando como resultado partículas de mayor tamaño, con menor rendimiento en la molturación.

A la luz de los resultados obtenidos, y en función del tipo de producto que se desee obtener a partir de estas harinas cabe preguntarse acerca de la conveniencia o no de moler empleando una malla de 0,25 mm. Como se dijo, las harinas que atraviesan esa malla durante la molienda tienen la particularidad de mostrarse arenosas al paladar y para mejorar su palatabilidad luego de dispersarla en agua, es necesario un paso previo de tamizado, donde también se producen reducciones en el rendimiento.

En la molienda de las SC con una malla de 0,12 mm, se obtuvo un rendimiento de hasta 60% (Tabla 5.8). Esta harina está conformada por partículas que tienen un tamaño igual o inferior a 0,12 mm y como informaron Barboza *et al.* (2010), las harinas que atraviesan la malla 100 ASTM (0,15 mm) en el tamizado mejoran la textura y sabor de las galletas. Si se recurriera a una HC de alto rendimiento este sería de alrededor de 75%, pero al tamizarla para mejorar su palatabilidad se provocarían pérdidas adicionales próximas al 40%, con un rendimiento global definitivamente inferior.

Las harinas precocidas se obtuvieron con rendimientos de hasta un 40%, empleando la malla de 0,12 mm (Tabla 5.8). Si se las obtuviera en las condiciones que brindaron el mayor rendimiento en la molienda, alrededor de 50%, con una malla de 0,25 mm, sería necesario un tamizado posterior para mejorar la palatabilidad de esta harina, lo que generaría una pérdida extra de material del 70%.

Además del efecto de la molienda, el tamizado de la harina produjo también variaciones significativas en el contenido de proteínas de las distintas fracciones (p -valor < 0,0001). Así, en la harina de menor granulometría, aquella que atravesó la malla 200

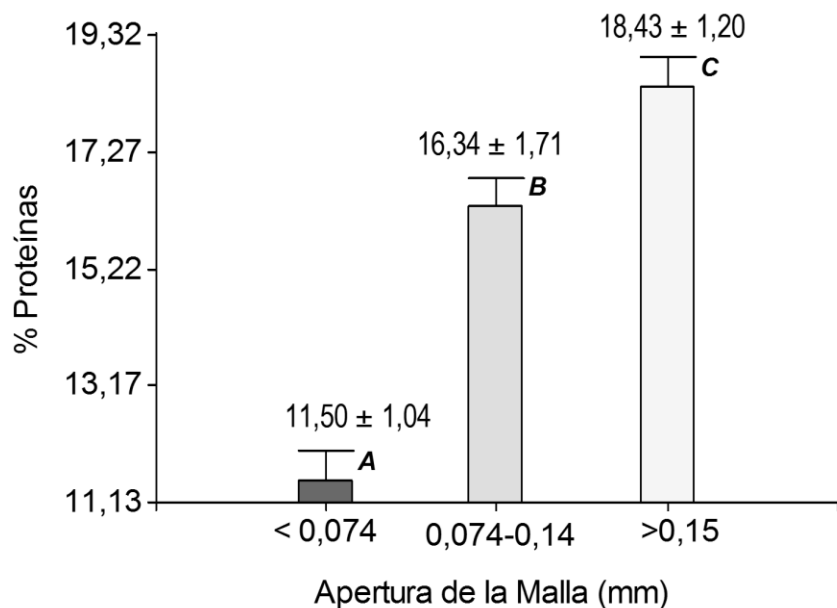
(ASTM) y quedó retenida en el ciego, se observó un contenido de proteínas significativamente menor que en aquellas retenidas entre las mallas de 200 y 100 ASTM, $16,34 \pm 1,71\%$ y $18,43 \pm 1,20\%$, respectivamente (Figura 5.13).

En este caso, no sería necesaria una etapa previa de tamizado. Obteniendo una pérdida total de 40% en la molienda. Sin embargo, si la HC es obtenida bajo las condiciones que produjeron un RA (alrededor de 75%), entre ellas la malla de 0,25 mm, no sólo se pierde un 25% de material en la molienda, sino que también hay pérdidas de alrededor del 40% en el tamizado.

En las SP se obtuvo un rendimiento de hasta 40% empleando la malla de 0,12 mm (Tabla 5.8). Si la HP se obtiene con las condiciones que brindaron el mayor rendimiento en la molienda (alrededor de 50%), entre ellas y al igual que en las HC, con una malla de 0,25 mm, sería necesario un paso previo de tamizado para obtener una harina que presente mejor palatabilidad. Este paso previo, representado por el tamizado, generaría una pérdida extra de material del 70%.

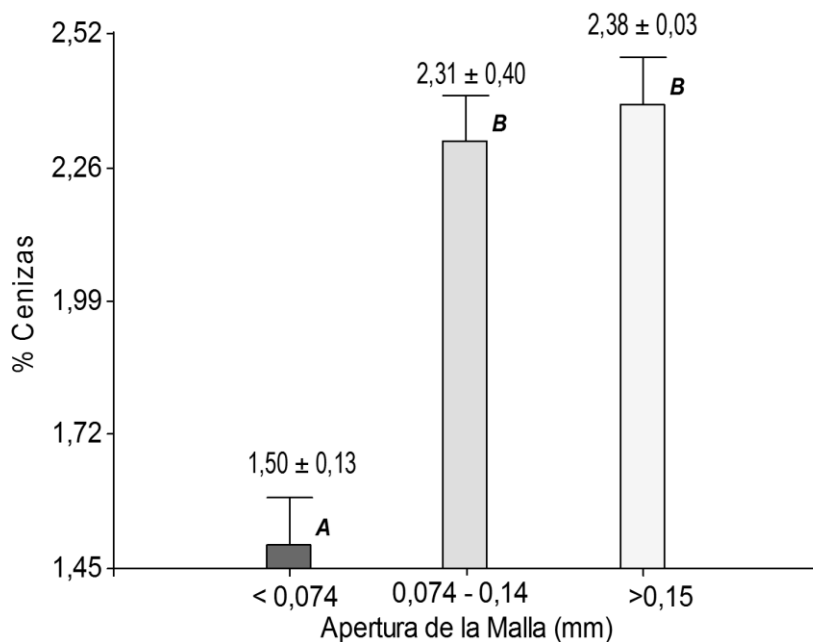
5.4.2.7. Efecto del tamizado sobre el contenido de cenizas y proteínas de harinas crudas de quinoa.

Además del efecto de la molienda, el tamizado de la harina produjo también variaciones significativas en el contenido de proteínas de las distintas fracciones (p -valor $<0,0001$). Así, en la harina de menor granulometría, fue aquella que atravesó la malla 200 (ASTM) y quedó retenida en el ciego, se observó un contenido de proteínas significativamente menor que en aquellas retenidas entre las mallas de 200 y 100 ASTM. En estas últimas, el contenido de proteínas fue de $16,34 \pm 1,71\%$ y $18,43 \pm 1,20\%$, respectivamente (Figura 5.12).



Barras con una letra común en cada gráfico (A, B o C) indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.12).

Figura 5.12. Contenido de proteínas de las harinas crudas de quinoa tamizadas.



Barras con una letra común en cada gráfico (A, B o C) indica que los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.13).

Figura 5.13. Contenido de cenizas de las harinas crudas de quinoa tamizadas.

El tamizado de la harina también produjo variaciones significativas en el contenido de cenizas (p -valor $< 0,0001$) de las harinas. Así, aquellas que atravesaron la malla 200 ASTM

(< 0,074 mm) tuvieron un contenido de cenizas significativamente menor que aquellas que quedaron retenidas en las mallas 100 y 200 ASTM (Figura 5.13).

En la sección 5.4.2.3 se mostró que el tamaño de la malla fue la variable más influyente en la cantidad de harina obtenida luego de la molienda de las SQ, y que estas harinas tuvieron diferente composición según sean las condiciones bajo las cuales se realizó la molienda.

La Figura 5.12 muestra que el mayor contenido de proteínas lo presentó la harina con mayor granulometría, al igual que lo ocurrido en la HC con mayor rendimiento en la molienda y que por el contrario aquellas harinas con menor tamaño de partículas mostraron menores contenidos proteicos. Esto induce a pensar que las partículas que atraviesan la malla del molino y las mallas de tamiz tienen diferente composición química y que posiblemente esto influya en su capacidad para reducir su tamaño en la molienda. Vázquez Ovando *et al.* (2015) y Wang & Flores (2000), en sus trabajos realizados con harina de chíca los primeros y trigo los segundos, publicaron variaciones en la composición química de las harinas y sus características, según el tamaño de partícula. En ambos trabajos, se evidenció el efecto del tamaño de partículas sobre la composición de las harinas. El mayor contenido de proteínas en dichos trabajos lo presentaron aquella harina con menor tamaño de partícula, tendencia contraria a la aquí observada. Sin embargo, en las HP de quinoa, el mayor contenido de proteínas lo presentó la harina con RB, donde se empleó una malla de menor apertura que las otras (0,12 mm).

Por el contrario, Kerr *et al.* (2000) al obtener harina de porotos, no encontraron correlación entre el contenido de proteínas o cenizas con la malla empleada en la molienda, sin embargo, sí hallaron diferencias, según la apertura de la malla empleada en el tamizado.

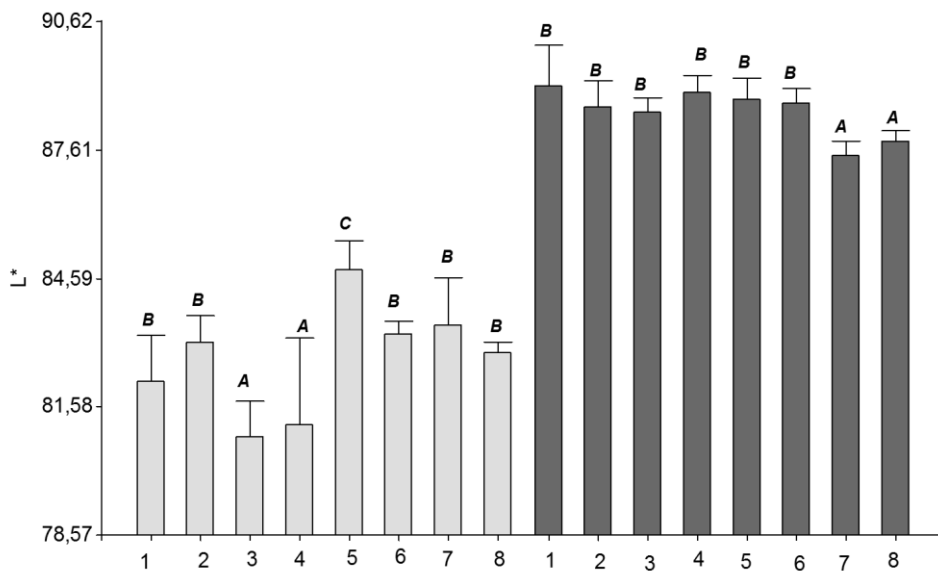
5.4.2.8. Parámetros de color L*a* y b* en harinas crudas y precocidas de quinoa.

Fueron notables las diferencias entre las HC y HP de quinoa en los parámetros L* y b* (Figuras 5.14.A y 5.14.C).

El parámetro L* fue mayor en las HC, indicando una mayor luminosidad o intensidad del color blanco que en las otras. Por contrario en las HP prevaleció el parámetro b*, es decir que tuvieron mayor intensidad del color amarillo o tostado. El color amarillo no sólo depende de la presencia de pigmentos carotenoides, sino que es influenciado por otros factores, como la tasa de extracción de sémola o harina (Matsuo & Dexter (1980) en Roncallo *et al.*, 2009), las condiciones de procesado (Borrelli *et al.* (2003) en Roncallo *et al.*, 2009) y la degradación oxidativa de pigmentos por enzimas (lipoxigenasas). Dentro de las

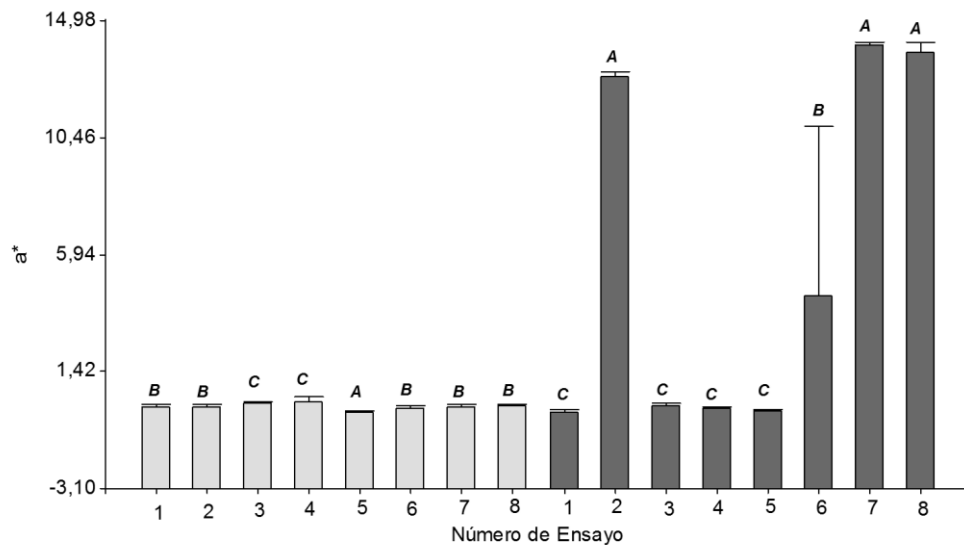
condiciones de procesado, el proceso de precocción al que se sometieron las SQ podrían haber influido en los valores del parámetro b^* . El desarrollo de una mayor intensidad de este color, podría deberse a reacciones de Maillard durante la cocción de los granos. Vela & Cabrera (1984), a través de la evaluación sensorial con un panel de jueces entrenados, llegaron a la conclusión que las SQ cocidas presentaban un color más oscuro que aquellos sin cocer, asociando el oscurecimiento a alguna reacción de tipo química o enzimática. Se sabe que la quinoa posee azúcares reductores y aminoácidos libres, por lo tanto, estos podrían participar del pardeamiento no enzimático produciendo reducciones en el valor nutritivo de los alimentos o de algunos nutrientes en particular (Astiasarán & Martínez, 2000).

Color gris claro: HP; Color gris oscuro: HC. Los números del 1 al 8, representan las condiciones bajo las cuales fue realizada la molienda (Tabla 5.2).



Letras iguales en las barras del mismo color, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.14.A).

Figura 5.14.A. Parámetro L^* en harinas crudas y precocidas de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda.

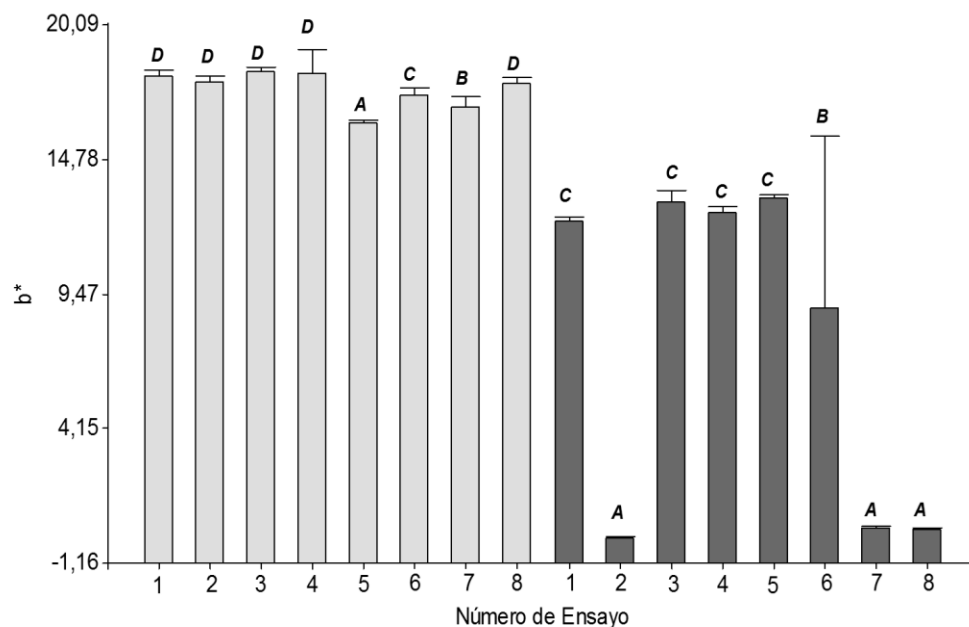


Letras iguales en las barras del mismo color, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.14.B)

Figura 5.14.B. Parámetro a^* en harinas crudas y precocidas de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda.

En las HC y HP se observó que aquellas con rendimientos altos durante la molienda presentaron los menores valores del parámetro L^* (Ensayos 7 y 8 en las HC y 3 y 4 en las HP, Figura 5.14.A) y los mayores del parámetro a^* . Esta menor intensidad del color blanco y mayor del color rojo podría ser indicativo de una mayor proporción de las capas externas de las semillas, como el salvado.

En el trabajo publicado por Lamberts *et al.* (2007) se analizaron entre otras cosas, el color de diferentes fracciones de la molienda de arroz y encontraron que los parámetros L^*a^* y b^* indicaban una mayor presencia de pigmentos rojos y amarillos que el endospermo. En el resto de las harinas, no fue evidente una tendencia tan clara en ambos parámetros como lo ocurrido con las harinas de rendimiento alto.



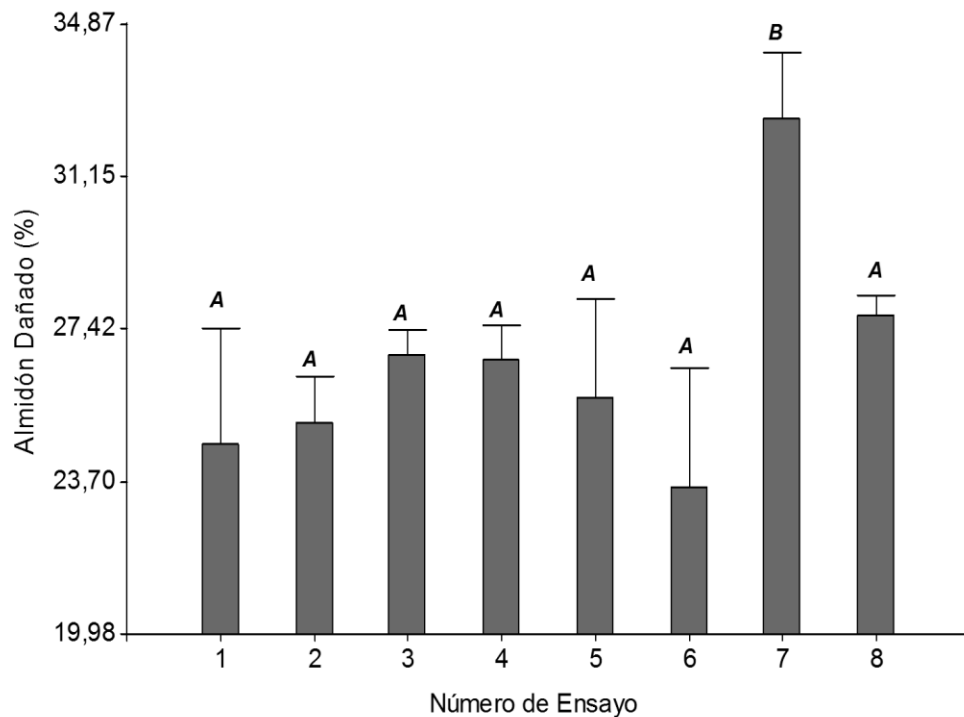
Letras iguales en las barras del mismo color, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.14.C)

Figura 5.14.C. Parámetro b^* en HC y HP de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda.

5.4.2.9. Contenido de almidón dañado (AD%) en las harinas crudas de quinoa.

El contenido de AD (%) de las HC de quinoa no mostró diferencias significativas para distintas condiciones de molienda, excepto cuando las variables de molienda, humedad y malla estuvieron en el nivel II y la velocidad de dosificación, en el nivel I (Ensayo 7, Figura 5.15), en este caso el porcentaje de AD fue mayor al resto.

Esta harina, al igual que la obtenida con las condiciones del ensayo 8 (humedad y tamaño de malla en el nivel 2 y velocidad de dosificación en el nivel 2) fueron las que presentaron, como ya se mencionó, los rendimientos más altos durante la molienda. El mayor contenido de AD de una harina con respecto a la otra podría deberse a que la harina permanece más tiempo en el interior de la cámara del molino siendo sometida, a la acción de cizallamiento de los martillos.



Los números del 1 al 8, representan las condiciones bajo las cuales fue realizada la molienda (Tabla 5.2).

Letras iguales en las barras, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Ver Anexo 5, Figura 5.15.)

Figura 5.15. Contenido de almidón dañado en las harinas crudas de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda.

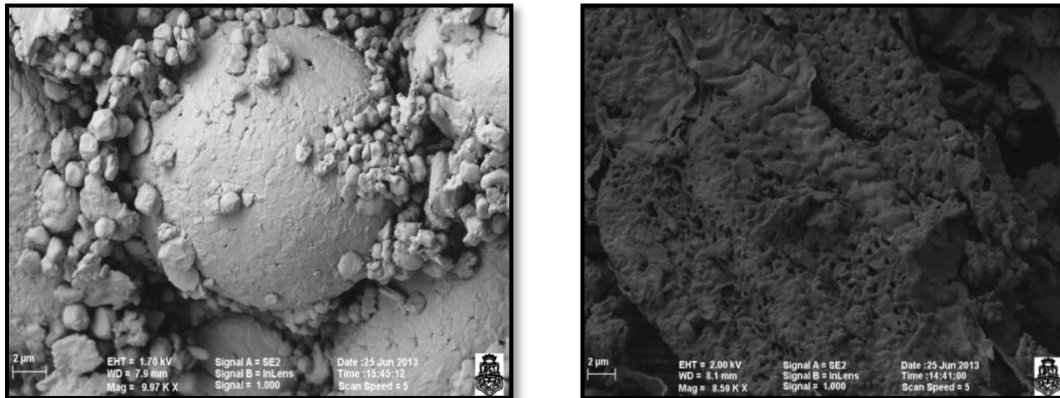
Otro acontecimiento llamativo, fue que no se observaron diferencias en el contenido de AD entre las harinas molidas con diferentes porcentajes de humedad, ya que esta variable afecta directamente la dureza del grano y este parámetro se relaciona estrechamente con la formación de AD. Sin embargo, la dureza no está vinculada exclusivamente a la humedad, otro factor que participa es la fuerza de la interacción proteína-almidón de las semillas. En este sentido, se sabe que los gránulos de almidón de quinoa se encuentran rodeados por una matriz proteica que los protege de la acción de la α -amilasa (Ruales & Nair, 1994). Sin embargo, Varriano Martson & de Francisco en Ruales & Nair (1994) hallaron una débil unión entre las proteínas y el almidón en la mayoría de sus micrografías electrónicas de barrido.

Todas las harinas tuvieron altos porcentajes de AD, a pesar de que en general, gránulos de almidón de pequeño tamaño, como el de quinoa son menos susceptibles a dañarse durante la molienda que gránulos más grandes. Los porcentajes oscilaron entre 23 y 28%, excepto bajo las condiciones de molienda empleadas en el ensayo 7, que superó el 30%. El contenido de AD de la harina de quinoa, fue superior al de una harina de amaranto molida con molino de martillos con una humedad de 10,5%. En el mismo trabajo realizado

con amaranto, se informaron porcentajes mayores de AD, luego de realizar la molienda con otros molinos o en un mismo molino entre la primera y segunda pasada, alcanzando hasta un 50% (Carpio Escobar, 2009).

5.4.2.10. Microscopía electrónica de barrido (MEB).

En la Figura 5.16.A, se muestran las harinas integrales; como puede verse allí, hay presencia de gránulos de almidón que se encuentran aislados o en agregados esféricos (Figura 5.16.A).



A. Harina Cruda

B. Harina Precocida

Figura 5.16 (A y B). Microfotografías de HQ

En la Figura 5.16.B se presenta la micrografía de la HP, que muestra una fase continua y extensa, en donde la estructura nativa del almidón ha desaparecido por completo, como consecuencia de la gelatinización de sus gránulos de almidón durante el tratamiento hidrotérmico de las semillas.

5.5. Conclusiones parciales.

Las condiciones de molienda en molino de martillo de las semillas de quinoa, tanto crudas como precocidas afectaron la composición química proximal de las harinas resultantes.

Una de las variables estudiadas para evaluar el rendimiento y la composición de las harinas correspondió a la humedad de las semillas al momento de la molienda. En el caso de las semillas crudas, fueron suficientes 25 min de secado para alcanzar una humedad del $12,4 \pm 1,0\%$, que fue la que junto con las otras dos variables (malla y velocidad de dosificación) las permitieron obtener los mayores rendimientos en harina. Una etapa previa de centrifugación permite reducir el contenido de agua libre de las semillas alrededor de un 8% y alcanzar la humedad óptima de las semillas para la molienda unos 5 min antes. Si bien el secado de las semillas a una temperatura mayor mejoraría la eficiencia del proceso, se

corre el riesgo de modificar alguna/s característica físico-química de las semillas. Por otro lado, el método de secado empleado mostró ser eficiente para mantener la temperatura seleccionada a lo largo del proceso.

Las semillas precocidas mostraron una cinética de secado diferente de las crudas. Además de contener mayor cantidad de agua al momento de iniciar el secado, debido a la absorción producida durante la precocción de las semillas, el centrifugado como etapa previa al secado no resultó eficiente. Este mayor contenido de humedad, estaría relacionado con el agua ligada, dando como resultado una reducción notable en la velocidad de secado, siendo necesarios 95 min en el lecho fluidizado (Condiciones detalladas en la Subsección 5.3.3.1) para alcanzar una humedad de $7,1 \pm 0,7\%$ que fue la que mejores rendimientos de harina precocida brindó. A diferencia de las semillas crudas, estas podrían haber sido secadas a mayores temperaturas para mejorar la eficiencia del proceso.

Los máximos rendimientos para harina cruda fueron de alrededor del 75% y se obtuvieron con la malla de 0,25 mm y una humedad del 12%, donde la velocidad de dosificación no mostró un efecto significativo. En las semillas precocidas, el rendimiento fue menor, alrededor de un 50%. Durante la molienda de las semillas precocidas, la malla fue la variable más determinante en el rendimiento y, al igual que para las semillas crudas, el mejor resultado se obtuvo con la malla de mayor apertura y donde la velocidad de dosificación no mostró un efecto notable; sin embargo, la humedad que dio mejores resultados fue del 7%.

Además del rendimiento, las condiciones de molienda afectaron la composición química proximal de las harinas, ocasionando un pasaje diferencial de nutrientes a través de la malla, en ocasiones con retención de algunos componentes en el interior del molino y consecuente aumento proporcional de otros en el producto final. Por otro lado, si bien no se evidenció una tendencia clara de las condiciones de molienda sobre el contenido de fibra dietética total, aparentemente el proceso de precocción incrementaría el contenido de fibra dietética total por la posible formación de almidón resistente tipo 3.

El tamaño de partículas es un aspecto a tener en cuenta pues, como se mencionó en la discusión, hay evidencias claras de que afecta la palatabilidad y la textura de las mimas.

El color de las harinas también influye en las características sensoriales. Este parámetro adquiere mayor o menor relevancia según cual sea el producto en que se emplee. Las harinas precocidas tuvieron menor luminosidad que las crudas, mostrando mayor prevalencia del color rojo o amarillo y a su vez ambas mostraron mayor prevalencia de las tonalidades amarillas en las harinas con altos rendimientos.

Las harinas crudas tuvieron altos porcentajes de almidón dañado, independientemente de las condiciones de molienda.

Capítulo 6

Caracterización de las Harinas Crudas (HC) y Harinas Precocidas (HP) de quinoa.

6.1. Introducción al Capítulo.

En el presente capítulo se presentan las caracterizaciones de algunos aspectos físico-químicos y nutricionales de las HC y HP de quinoa, que como ya se mencionó, constituyen uno de los principales sub-productos de SQ.

En Argentina la agroindustria relacionada con la quinoa es aún incipiente, por ello es de importancia aportar información que posibilite su desarrollo a través de la formulación de alimentos nutritivos, dietéticos y/o funcionales, a partir de materias primas nacionales.

En este Capítulo se presentó la composición química proximal de las HC y HP provenientes de la molienda de las SQ de los cinco lotes bajo análisis, además de la caracterización de las harinas que se realizó teniendo en consideración los componentes mayoritarios que forman parte de estas: hidratos de carbono, proteínas y grasas. Se incluyó también en una Subsección llamada “otros componentes de interés nutricional” la determinación de Polifenoles Totales (PFT) y Pigmentos Carotenoides (PC).

Proteínas: Se realizó la determinación del perfil de aminoácidos (aa) en las HC de quinoa y se evaluaron nutricionalmente, comparando los perfiles con los requerimientos de diferentes grupos etarios. Las determinaciones se realizaron sobre HC ya que, como se vio en el Capítulo 4, las pérdidas de proteínas para el tratamiento con vapor a presión por 10-11 min, fueron muy bajas (20 y 30 mg/100 g de semillas), no justificándose la determinación de los aa en las HP.

Grasas: Se caracterizaron los perfiles de ácidos grasos (AG) de los aceites de quinoa extraídos a partir de SC y SP, con la intención de detectar posibles variaciones en ellos como consecuencia del tratamiento hidrotérmico al que fueron sometidas las semillas, y conocer cuáles son los AG predominantes, atento a la importancia nutricional que estos revisten en la prevención y tratamientos de diversas patologías crónicas no transmisibles. En este apartado, también se realizó el análisis de estabilidad oxidativa de las HC y HP, empleando como indicadores dienos conjugados (DC) y ácidos grasos libres (AGL).

Hidratos de Carbono: A partir del almidón de quinoa (AQ) extraído por Martini & Storani (2010), obtenido de frutos de quinoa de origen argentino, se determinó su comportamiento reológico mediante análisis mixográfico y de sus propiedades de hidratación (índice de absorción y solubilidad en agua y el poder de hinchamiento). Con fines comparativos se incluyeron en este estudio almidones comerciales de maíz, mandioca y arroz.

Se analizaron también; el contenido de fibra dietética total y fibra detergente ácida de las harinas provenientes de todos los lotes de semillas, y a partir del conocimiento de estas fracciones y de los hidratos de carbono totales, fue posible estimar el contenido de carbohidratos disponibles. Se determinaron además: azúcares reductores libres, glucosa y, al igual que en el almidón de quinoa, se analizaron las propiedades reológicas y de hidratación tanto de las harinas crudas como precocidas de quinoa, con y sin desengrasar, a fin de conocer las variaciones en las propiedades de *pasting* como consecuencia del tratamiento y ampliar la oferta de posibles aplicaciones alimentarias de estas harinas.

En la Subsección “Otros componentes de importancia nutricional” se incluyeron los polifenoles totales y los pigmentos carotenoides de las harinas crudas y precocidas quinoa por su actividad en la protección de macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo. Es importante conocer las técnicas o procesos industriales o domésticos que intervienen en la pérdida o degradación de estos fitoquímicos, ya que no sólo se afectan las características sensoriales de los alimentos, como el color, el sabor o la palatabilidad, sino que también conlleva una disminución de su valor nutritivo. Si bien las técnicas analíticas empleadas en el trabajo no discriminan entre sus diferentes estructuras químicas y funciones biológicas, es posible conocer el efecto del tratamiento sobre el contenido total de los mismos.

6.2. Objetivos específicos del capítulo.

- Establecer la composición química-proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa.
- Determinar el perfil de aminoácidos de las harinas crudas de quinoa.
- Calcular el cómputo aminoacídico y el puntaje químico teórico corregido por digestibilidad de las harinas crudas de quinoa.
- Determinar el perfil de ácidos grasos en aceite de semillas crudas y precocidas (vapor-presión:10-11 min) de quinoa.
- Analizar la estabilidad oxidativa (ácidos grasos libres y dienos conjugados) en harinas crudas y precocidas de quinoa.
- Establecer el contenido de fibra dietética total y fibra detergente ácida y calcular los carbohidratos disponibles de las harinas crudas y precocidas de quinoa.
- Determinar el contenido de azúcares reductores libres y glucosa en harina cruda y precocida de quinoa.
- Determinar el contenido de azúcares totales y azúcares reductores libres en harinas crudas de quinoa mediante titulación potenciométrica.
- Establecer las propiedades de *pasting* del almidón de quinoa y las harinas crudas y precocidas de quinoa con y sin desengrasar y las propiedades de hidratación.

6.3. Materiales y Métodos

6.3.1. Material vegetal

El origen de los FQ empleados fue descrito en la Subsección 2.3.1, Capítulo 2.

En el lote 2009 se determinaron los azúcares totales (AT) y los azúcares reductores libres por titulación potenciométrica.

A fines de comparar el comportamiento de *pasting* del AQ con otros almidones, se emplearon Fécula de Maíz (FMZ), Fécula de Mandioca y la Harina de Arroz que fueron adquiridos en el mercado local en el año 2014. El AQ fue asilado por Storani & Martini (2010) a partir de frutos de la cosecha 2009, durante el desarrollo de su Tesis de grado.

6.3.2. Obtención de harina cruda y precocida de quinoa.

Para la obtención de harinas, los frutos fueron desamargados por flujo continuo de agua (Subsecciones 3.3.3.2 y 3.3.4.2, Capítulo 3), precocidos 10 min (Subsección 4.3.2.1, Capítulo 4), en el caso de las HP, secados en lecho fluidizado (Subsección 5.3.3.1.1, Capítulo 5) y molidos con molino de martillo (Subsección 5.3.3.5, Capítulo 5). Las condiciones de molienda de las SC fueron: humedad $12,4 \pm 1,00\%$, malla de 0,25 mm y velocidad de dosificación $26,7 \pm 1,7$ g/min. En las SP las condiciones de molienda fueron: humedad $6,78 \pm 1,00\%$, malla de 0,25 mm y velocidad de dosificación $13,6 \pm 0,3$ g/min.

6.3.3. Determinación de la composición química proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa.

El análisis de la composición proximal de las harinas se realizó como se describe en la Subsección 2.3.3.1 del Capítulo 2. Las harinas desengrasadas mediante Soxhlet fueron posteriormente empleadas en el análisis mixográfico.

6.3.4. Caracterización del perfil de aminoácidos (aa) y calidad proteica de harinas crudas y precocidas de quinoa.

6.3.4.1. Determinación del perfil de aa de las harinas crudas de quinoa.

En la determinación de los aa constitutivos de las proteínas, la hidrólisis proteica constituye una etapa clave. Las hidrólisis pueden ser enzimáticas o químicas. Como las hidrólisis directas por agua son raras ya que requieren altas temperaturas y presiones, normalmente se efectúa en presencia de ácidos minerales fuertes o bases fuertes como catalizadores, o bajo la acción catalítica de determinadas enzimas (Guadix *et al.*, 2003).

La hidrólisis ácida, normalmente con HCl 6M en una solución libre de oxígeno, actúa sobre el sustrato degradándolo y liberando los aa prácticamente en forma completa. Sin embargo, bajo esas condiciones se produce destrucción total de los residuos de triptófano (Greenfield & Southgate, 2003; Nielsen, 2009); mientras que cisteína, metionina, serina y treonina se degradan parcialmente. Los valores obtenidos para el ácido aspártico y glutámico comprenden tanto a estos como a sus derivados aminados asparragina y glutamina, ya que la hidrólisis ácida convierte a estos últimos en los primeros. Para poder cuantificar los aminoácidos cisteína y metionina de la proteína son oxidados previamente a ácido cisteico y metionina sulfona con ácido perbórico para luego realizar la hidrólisis ácida (Greenfield & Southgate, 2003; Nielsen, 2009).

Dependiendo del detector empleado en la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o en la electroforesis capilar (EC), a veces es necesario realizar una reacción de derivatización pre o post-columna, existiendo una variedad de reactivos, que producen compuestos detectables en la región UV-visible (Alonso *et al.* (1994), Wang *et al.* (2000), Alaiz *et al.* (1992) y Thippeswamy *et al.* (2007) en Mufari, 2010)

El perfil de aminoácidos fue determinado por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), previa hidrólisis ácida de las harinas con HCl 6 M por 24 h, según el método oficial de análisis de AOAC Internacional, 994.1210, modificado por Mufari (2010).

Se utilizó un equipo HPLC marca *Perkin Elmer*, con una bomba binaria Serie 200, detector espectrofotométrico UV-visible y columna (*Zorbax Eclipse Plus*) C18 (4,6 x 150 mm y tamaño de partícula de 5 µm) de Agilent Technologies.

6.3.4.2. Cálculo del cómputo aminoacídico (CA)

El CA o score químico se calculó aplicando la siguiente fórmula (Ettinger, 2001; Nielsen, 2009; Tapia, 2000):

$$\text{Ecuación 6.1. } CA = \frac{\text{mg de aa por g de proteína en estudio}}{\text{mg de aa por g de proteína patrón}} \times 100$$

Se emplearon como patrón de referencia los requerimientos de aminoácidos de los niños edad preescolar (2-5 años), escolar y adultos (FAO, 1985).

6.3.4.3. Cálculo de cómputo aminoacídico corregido por la digestibilidad teórica.

El puntaje químico teórico corregido por digestibilidad (*protein digestibility corrected amino acid score*) se calculó de la siguiente manera (Nielsen, 2009; Suarez López *et al.*, 2006):

Ecuación 6.2.

$$PDCAAS = CA \times digestibilidad$$

Este cálculo teórico, se realizó considerando una digestibilidad del 80% (Tapia *et al.*, 2000).

6.3.5. Caracterización del perfil de ácidos grasos (AG) y estabilidad oxidativa de harinas crudas y precocidas de quinoa.**6.3.5.1. Determinación del perfil de ácidos grasos.**

Extracción del aceite: Los aceites empleados para la determinación del perfil de AG, fueron obtenidos mediante extracción con un equipo Soxhlet durante 8 h, utilizando n-hexano como solvente. Los balones empleados para la extracción fueron recubiertos con papel de aluminio para proteger la muestra de la luz artificial.

Obtención de ésteres metílicos: Para la obtención de ésteres metílicos se siguió la metodología descrita por Gunstone *et al.* (2007).

Determinación del perfil de AG por cromatografía gaseosa: Las muestras se diluyeron en hexano y fueron analizadas en un cromatógrafo de gases con espectrómetro de masa (marca *Perkin Elmer* mod. *Clarus 600*); los datos fueron adquiridos empleando el programa TurboMass 5.4.2. El cromatógrafo de gases estuvo equipado con una columna Carbowax (60 m, 0,25 mm ID, 0,25 μ m de partícula), (marca *Perkin Elmer*). La temperatura del inyector fue de 250 °C, gas carrier helio (49,6 psi). La temperatura de la columna comenzó a 180 °C por 5 min y luego se incrementó hasta 200 °C a una velocidad de 4 °C/min, se mantuvo 5 min y luego se incrementó hasta 230°C a una velocidad de 23 °C/min y permaneció en esas condiciones por 6 min. El cromatograma se obtuvo entre 30 y 400 de relación masa carga.

6.3.5.2. Estabilidad oxidativa de la harina cruda y precocida de quinoa

Preparación de las muestras: Las muestras fueron almacenadas en bolsas de aluminio a 25°C en una cámara de almacenamiento. Cada sobre contuvo 2 g de polvo ($\pm 0,0001$ g). El ensayo tuvo una duración total de 4 meses y medio, con mediciones realizadas cada 14 días.

Para las determinaciones fueron pesados 1 g de muestra ($\pm 0,0001$ g) a los que se les añadieron 25 mL de n-hexano calidad analítica, se agitó vigorosamente durante 1 min y se dejó en reposo en un sitio oscuro durante 1 h. El sobrenadante fue centrifugado a 1006 G. por 15 min y de allí se tomaron 4 mL para la determinación de la acidez libre (AL) y 1 mL para la medición de los Dienes Conjugados (DC) (Su-Chuen *et al.*, 2007).

Dienes conjugados (DC): los DC se determinaron por medición de la absorción del extracto quinoa/hexano a 234 nm. Se utilizó un espectrofotómetro UV-Visible. El blanco se

realizó con n-hexano. La concentración de DC se calculó en $\mu\text{mol/g}$ de quinoa, utilizando una absorptividad molar de 24.500 l / M cm (Su-Chuen *et al.*, 2007).

Ácidos Grasos Libres (AGL): Para determinar el contenido de AGL se emplearon 4 mL del extracto quinoa / hexano a los que se le añadieron 10 mL de etanol al 95% y se valoró con una solución de NaOH normalizada, usando fenolftaleína (1% w/v en etanol) como indicador. Para el blanco se emplearon 4 mL de hexano en 10 mL de etanol al 95% (Su-Chueng *et al.*, 2007). Los AGL se calcularon como porcentaje de ácido oleico.

Ecuación 6.3.
$$AGL = \frac{(V \times PM \times M)}{m}$$

Donde;

V: Volumen de NaOH empleado en la titulación, mL

M: Molaridad del NaOH

PM: Peso molecular del Ácido Oleico

m: Masa de muestra, g

6.3.6. Caracterización de los hidratos de carbono.

6.3.6.1. Determinación del contenido de fibra dietética tota (FDT), fibra detergente ácida (FDA) y carbohidratos disponibles (CD) de las HC y HP.

La FDT y FDA se determinaron como se describe en las Subsecciones 5.3.3.8 y 5.3.3.7 y los CD se estimaron como se mencionó en la Subsección 5.3.3.6.4, Capítulo 5.

6.3.6.2. Determinación espectrofotométrica de azúcares reductores libres en harina cruda y precocida de quinoa.

Extracción de los azúcares: Para la extracción de los ARL en las harinas se pesó 1 g de muestra ($\pm 0,0001$) al que se le añadieron 10 mL de agua destilada caliente 75°C , se agitó vigorosamente y centrifugó a 2000 G durante 15 min. Se tomaron 0,8 mL del extracto se le añadió 1 mL del reactivo derivatizador (DNSL).

El procedimiento de medición y preparación del reactivo se realizó como se cita en la Subsección 4.3.5.1.4 del Capítulo 4.

Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado a partir de dos extracciones de azúcares independientes.

6.3.6.3. Determinación de azúcares reductores libres por titulación potenciométrica redox en harina cruda y precocida de quinoa.

La determinación de los ARL por titulación potenciométrica y preparación del reactivo se realizó como describió Orrabalis (2014) y Franca & Gonzales Baró (2012).

Preparación de la muestra: Se pesaron 20 g ($\pm 0,01$) de harina a los cuales se les añadió 200 cm³ de agua destilada y se agitó por 30 min. Posteriormente se centrifugaron a 1006 G. por 15 min.

Las disoluciones de Fehling fueron estandarizadas por triplicado antes de su empleo con una solución patrón de glucosa 0,05 % (p/v).

Determinación de los ARL: Se mezclaron en un erlenmeyer 2,5 mL de una solución Fehling A, 2,5 mL del reactivo Fehling B y 50 mL de agua destilada. Esta solución se llevó a ebullición y se tituló gota a gota la solución hirviente con el agente titulante que estuvo conformado por una solución que estuvo compuesta por una solución de glucosa (0,5 % p/v) y el sobrenadante obtenido luego de cada centrifugación en una proporción 1:1. Para determinar el punto final se utilizó como electrodo indicador un electrodo de platino y de referencia un electrodo de calomel conectados a un Datalogger computer (*Xplorer GLX Pasco*). La medida de la FEM (E) fue determinada realizando la primera derivada de la FEM medida respecto al volumen de titulante, como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 6.4.
$$\frac{dE}{dV} = \frac{E_f - E_i}{V_f - V_i}$$

Donde:

E: Potencial eléctrico medido

V: Volumen medido para cada lectura de E, mL

Para calcular el porcentaje de AR provenientes de la muestra se aplicó la Ecuación 6.5 que se detalla a continuación:

Ecuación 6.5.
$$\% ARL = \frac{f \times V_1 \times 100}{V_2 \times m}$$

Donde:

f: Título de Fehling

V₁: Dilución a la que se lleva la muestra, mL

V₂: Vol. gastado en la titulación, mL

M: masa, g

6.3.6.4. Determinación de azúcares totales en harina cruda de quinoa.

La determinación de los azúcares totales (AT) en la HC de quinoa se realizó mediante titulación potenciométrica, como se describió en 6.3.6.3, previa hidrólisis del almidón.

Preparación de la muestra: Se pesaron 4 g ($\pm 0,0001$) de HC de quinoa y se colocaron en un balón con 180 mL de agua y 20 mL de HCl (25% v/v). Se llevó a reflujo por 3 h, una vez alcanzado el tiempo, se dejó enfriar, se neutralizó con NaOH 3M, usando fenolftaleína como indicador y se enrasó a 500 mL. La solución se filtró con papel de filtro y el filtrado (agente titulante) se colocó en una bureta de 50 mL.

Antes de establecerse las 3 h como tiempo de hidrólisis, se probó con 5 h y se obtuvieron los mismos resultados.

Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado, a partir de dos hidrólisis independientes.

6.3.6.5. Determinación del contenido de glucosa en harina cruda y precocida de quinoa.

Preparación de la muestra: Para la extracción de la glucosa, se pesó 1 g de harina ($\pm 0,0001$) al que se le añadieron 5 mL de agua destilada precalentada (75°C). Los tubos se agitaron cada 5 min por un lapso total de 30 min. En las HC, los tubos se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min. Se tomó el sobrenadante y se llevó a un volumen final de 25 mL.

En las HP, la medición se realizó directamente sobre el sobrenadante.

El procedimiento de medición y preparación del reactivo se realizó tal como se describe en la Subsección 4.3.5.1.5 del Capítulo 4.

Las determinaciones se realizaron por sextuplicado a partir de dos extracciones independientes de glucosa. La muestra de partida estuvo constituida por las tres fracciones de harina obtenidas de los ensayos de molienda, previamente homogeneizada.

6.3.6.6. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

La muestra de almidón se recubrió con oro y se examinó utilizando un microscopio electrónico de barrido *FE-SEM SIGMA* (LAMARX – FAMAFA - UNC).

6.3.6.7. Determinación del contenido de amilosa en harina cruda de quinoa.

El contenido de amilosa de las HC de quinoa se determinó utilizando el kit de ensayo Megazyme amilosa y amilopectina (Megazyme Internacional, Irlanda). Los resultados se expresaron como g de amilosa/100 g de almidón. Las determinaciones se realizaron por duplicado.

6.3.6.8. Análisis de las propiedades de *pasting* de las harinas crudas, precocidas y almidón de quinoa, fécula de maíz, harina de arroz y fécula de mandioca.

Se empleó un Analizador Rápido de Viscosidad (Perten-RVA-4) para determinar las siguientes propiedades: *Peak viscosity* (PV), *final viscosity* (VF), *breakdown* (BD), *setback* (SB) y temperatura de *pasting* (PT). El PV corresponde al primer pico de viscosidad de la curva, mientras que VF es el valor que se alcanza al finalizar la curva de *pasting*. El BD es la diferencia de viscosidades entre el PV y el valle de la curva de *pasting*, mientras que SB es la diferencia entre este último y VF. TP es el tiempo al que sucede el PV y la PT es la temperatura medida al punto de inflexión, en la base del PV.

Se emplearon 3,5 g de muestra ($\pm 0,01$, base seca) por ensayo, y 25 mL de agua destilada aproximadamente. El ciclo se inició a 50°C, con una velocidad de agitación de la paleta de 960 rpm; a los 10 s se redujo a 160 rpm y se mantuvo en ese valor por el resto del ciclo. Al minuto se mostró una rampa de 12°C/min hasta alcanzar los 95°C y se mantuvo allí por 2,5 min para luego aplicar una rampa de -12 °C/min hasta llegar a los 50°C, manteniéndose a esa temperatura por 2 min más, totalizando el ciclo 13 min. Las determinaciones se realizaron por duplicado.

6.3.6.9. Determinación de las propiedades de hidratación: Poder de Hinchamiento, Porcentaje de Solubilidad e Índice de Absorción de Agua.

Aproximadamente 0,35 ($\pm 0,01$, base seca) de harina se colocaron en tubos de centrifuga y se les añadió 12,5 mL de agua destilada. El tubo fue inmediatamente tapado, agitado en un vortex y colocado en un baño de agua a temperaturas constantes de 55, 75 y 95°C. Los tubos fueron mezclados invirtiéndolos dos veces cada 20 segundos por un lapso total de 15 min. Luego fueron enfriados en un baño de agua a 25°C y centrifugados a 3000 rpm por 20 min. El sobrenadante fue evaporado a 105°C durante 24 h y el gel formado se pesó en balanza analítica. Los valores de Porcentaje de Solubilidad (%S), Poder de Hinchamiento (PH) e Índice de Absorción de Agua (IAA) fueron calculados aplicando las siguientes fórmulas (Ahamed *et al.*, 1996):

Ecuación 6.6.
$$\%S = \frac{P_{ss}}{P_{sm}} \times 100$$

Ecuación 6.7.
$$PH = \frac{P_g}{P_m - P_{ss}}$$

Ecuación 6.8.
$$IAA = \frac{P_g}{P_m}$$

Donde:

Pss: peso seco del sobrenadante, g

Psm: peso seco de la muestra, g

Pg: peso del gel, g

Pm: peso de la muestra, g

6.3.7. Otras determinaciones en las harinas crudas y precocidas de quinoa.

6.3.7.1. Determinación de polifenoles totales (PFT)

Los PFT se determinaron espectrofotométricamente a partir de la reacción entre ellos y el reactivo de Folin-Ciocalteu.

Para la extracción de los compuestos fenólicos se siguió el procedimiento descrito por Repo Carrasco & Encina Zelada (2008). Se pesaron 2,5 g de muestra ($\pm 0,01$, base seca) previamente desengrasada con n-hexano a los que se le añadieron 11 mL de metanol, se agitó la muestra durante una hora y se dejó reposar por 24 h a 4°C, posteriormente las muestras fueron centrifugadas a 2500 G. por 15 min.

Curva de calibración: Para la cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en las harinas, se preparó una curva de calibración tomando como patrón ácido gálico (pa), obteniéndose una respuesta lineal con un coeficiente de ajuste $R^2=0,9975$. La solución madre tuvo una concentración de 0,01 g de ácido gálico/L. A partir de ella se realizaron diluciones hasta alcanzar concentraciones entre 5 y 160 $\mu\text{g/mL}$.

Determinación de los compuestos fenólicos: La medición se realizó aplicando la metodología desarrollada por Dewanto *et al.* (2002). Lecturas espectrofotométricas se realizaron en un lector de microplacas multimodo Glomax®-Multi (Promega Corp., EE.UU.) a 750 nm. Las determinaciones se realizaron por sextuplicado a partir de dos extracciones independientes.

6.3.7.2. Determinación de pigmentos carotenoides (PC) en harinas crudas y precocidas de quinoa.

La determinación de los PC, se realizó siguiendo la metodología de la AACC (2000) que se describe en la Subsección 2.3.3.3 del Capítulo 2.

Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado a partir de dos extracciones independientes.

6.4. Resultados y Discusiones

6.4.1. Composición química-proximal de las harinas crudas y precocidas de quinoa.

Tabla 6.1. Composición química-proximal de las harinas de quinoa.

A. Harinas Crudas

g/100g	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Proteínas</i>	16,63±0,46	16,82 ± 0,22	13,68 ± 0,54	13,84±0,58	18,32±0,27
<i>Grasas</i>	8,60 ± 0,31	7,95 ± 0,21	6,76 ± 0,39	7,16±0,55	6,44±0,48
<i>Cenizas</i>	2,04 ± 0,07	1,97±0,04	2,05±0,05	2,02±0,06	2,07±
<i>H de C</i>	72,73±0,84	73,26±0,47	77,51±0,98	76,98±1,19	73,17±0,89

B. Harinas Precocidas

g/100g	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Proteínas</i>	14,9±0,26	13,99±0,22	13,20±0,38	13,31±0,53	15,15±0,77
<i>Grasas</i>	6,06±0,22	7,97±0,15	5,72±0,49	6,47±0,41	6,08±0,49
<i>Cenizas</i>	1,90±0,04	1,95±0,0	1,95±0,08	1,96±0,04	1,98±0,09
<i>H de C</i>	77,14±0,52	77,20±0,41	79,13±0,95	78,26±0,98	76,79±1,35

En las Tablas 6.1 y 6.2 se muestra como las HC y HP de quinoa tuvieron composiciones semejantes, aunque con algunas variaciones entre ellas, y con otros trabajos de investigación (Pajarito Parker, 2005).

6.4.2. Caracterización del perfil de aa y calidad proteica de harinas crudas y precocidas de quinoa.

6.4.2.1. Perfil de aa de las harinas de quinoa.

Las harinas analizadas superaron a la harina de trigo, arroz, avena, maíz, cebada y leche en el contenido de arginina e histidina. Las concentraciones de histidina y arginina presentes en las HQ fueron desde 0,29 a 0,90 g y de 0,87 a 1,32 g aa/100 g de harina, respectivamente. Además, presentaron mayores concentraciones de aminoácidos azufrados (AAS) y lisina. Estos resultados coincidieron con lo publicado por Friedman (1996).

Los aminoácidos aromáticos (AAA) se encontraron en concentraciones similares a las presentes en harina de trigo, arroz, cebada y maíz y superaron el aporte de la leche.

El contenido de valina, leucina a isoleucina fue similar al de los cereales, a excepción del lote 2008, que mostró una presencia de valina notablemente inferior.

Tabla 6.2. Contenido de aa de las harinas crudas de quinoa
(aa g/100 g de harina).

aa	2007	2008	2009 ¹	2010	2011
Ac. Aspártico	1,07±0,00	0,69±0,04	1,09 ± 0,06	0,84±0,04	1,14±0,07
Ac. Glutámico	1,87±0,00	1,81±0,04	1,90 ± 0,1	1,47±0,04	2,24±0,07
Serina	0,39±0,00	0,15±0,00	0,55 ± 0,03	0,11±0,03	0,57±0,24
Histidina	0,40±0,00	0,29±0,01	0,40 ± 0,02	0,90±0,03	0,79±0,53
Glicina	0,69±0,00	0,50±0,01	0,78 ± 0,04	0,66±0,02	0,59±0,26
Treonina	0,43±0,00	0,19±0,00	0,43 ± 0,02	0,35±0,02	0,61±0,27
Arginina	1,04±0,00	0,87±0,00	1,15 ± 0,08	0,89±0,04	1,34±0,07
Alanina	0,58±0,00	0,65±0,01	0,58 ± 0,03	0,48±0,01	0,54±0,44
Prolina	0,77±0,00	0,55±0,02	0,35 ± 0,06	0,09±0,03	1,48±0,06
Tirosina	0,34±0,01	0,07±0,01	0,32 ± 0,02	0,28±0,01	0,26±0,01
Valina	0,62±0,01	0,12±0,01	0,71 ± 0,08	0,56±0,07	0,50±0,01
Metionina	1,26±0,01	0,78±0,03	0,13 ± 0,01	0,11±0,03	1,51±0,34
Cisteína	0,27±0,01	1,64±0,08	0,06± 0,00	0,04±0,00	0,69±0,01
Isoleucina	0,53±0,01	0,44±0,01	0,53 ± 0,03	0,43±0,01	0,64±0,01
Leucina	0,86±0,01	0,66±0,02	0,88 ± 0,05	0,71±0,02	1,01±0,02
Fenilalanina	0,52±0,01	0,31±0,01	0,52 ± 0,03	0,43±0,01	0,58±0,02
Lisina	0,63±0,00	0,49±0,01	0,60 ± 0,03	0,60±0,02	0,78±0,01

¹. Mufari, 2010.

Las filas coloreadas corresponden a aa esenciales.

Tabla 6.3. Contenido de aminoácidos de cereales, leche y quinoa
(g aa/100 g de producto).

	Quinoa	HT	Arroz	Avena	Maíz	Cebada	Leche
	Datos bibliográficos*.						
Ác. Aspártico	0,88	0,49	0,81	1,06	0,60	0,67	0,26
Ác. Glutámico	1,43	4,17	1,62	2,92	1,8	2,77	0,76
Serina	0,44	0,56	0,43	0,66	0,47	0,48	0,20
Histidina	0,29	0,25	0,20	0,29	0,26	0,25	0,09
Glicina	0,62	0,42	0,39	0,66	0,35	0,45	0,07
Treonina	0,42	0,32	0,31	0,46	0,34	0,39	0,15
Arginina	0,84	0,42	0,65	0,88	0,40	0,56	0,11
Alanina	0,56	0,37	0,47	0,63	0,72	0,46	0,12
Tirosina	0,34	0,28	0,28	0,46	0,36	0,37	0,16
Valina	0,54	0,49	0,43	0,71	0,46	0,59	0,20
Metionina	0,24	0,17	0,18	0,23	0,18	0,20	0,09
Cistina	---	0,30	0,08	0,37	0,15	0,27	0,03
Isoleucina	0,43	0,44	0,3	0,53	0,35	0,42	0,16
Leucina	0,72	0,84	0,65	1,01	1,19	0,78	0,33
Fenilalanina	0,49	0,58	0,41	0,70	0,46	0,60	0,19
Lisina	0,67	0,25	0,30	0,52	0,25	0,41	0,27
Triptófano	---	0,13	---	---	0,07	---	---
Prolina	0,37	1,39	0,37	0,72	0,85	1,28	0,31

FAO, 1970; HT: Harina de Trigo.

6.4.2.2. Cómputo Aminoacídico de las harinas de quinoa.

Tabla 6.4. Cómputo aminoacídico de las harinas crudas de quinoa.

A. Preescolares

aa Limitantes	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
1°	Lisina	Valina	AAS	AAS	AAA
2°	Treonina	AAA	Lisina	Treonina	Lisina
3°	Leucina	Treonina	Treonina	Lisina	Valina
4°	AAA	Lisina	Leucina	Leucina	Leucina
5°	-	Leucina	AAA	AAA	Treonina
Cómputo Químico	73,90%	23%	59,20%	50,80%	72,90%

AAS: aminoácidos azufrados; AAA: aminoácidos aromáticos; el guion (-) indica que el aa en cuestión no representa un limitante.

B. Escolares

aa Limitantes	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
1°	Lisina	Valina	AAS	AAS	Lisina
2°	-	Treonina	Lisina	-	-
3°	-	Lisina	-	-	-
4°	-	AAA	-	-	-
5°	-	-	-	-	-
Cómputo Químico:	97,40%	32,15%	62,27%	57,70%	96,76%

AAS: aminoácidos azufrados; AAA: aminoácidos aromáticos; el guión (-) indica que el aa en cuestión no representa un limitante.

C. Adultos

aa Limitantes	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
1°	-	Valina	AAS	AAS	-
2°	-	-	-	-	-
3°	-	-	-	-	-
4°	-	-	-	-	-
5°	-	-	-	-	-
Cómputo Químico:	100%	62%	87%	75%	100%

AAS: aminoácidos azufrados; AAA: aminoácidos aromáticos; el guión (-) indica que el aa en cuestión no representa un limitante.

La evaluación de la calidad de proteínas tiene como objetivo determinar la capacidad de diferentes fuentes de proteínas alimentarias y las dietas para satisfacer la demanda metabólica de aminoácidos y nitrógeno.

En las Tablas 6.4. A, B y C se muestran los aminoácidos limitantes (AAL) para cada grupo etario y cada uno de los lotes de las HQ.

El CA o puntaje químico de la proteína de quinoa (Tablas 6.4.A, B y C) asciende a medida que la edad de los grupos analizados es mayor; esto se debe a que los requerimientos de aa disminuyen como consecuencia de la menor demanda metabólica, dado que no se precisa un balance nitrogenado positivo (anabolismo) a edades más avanzadas.

La deficiencia aminoacídica encontrada en las HQ, la posicionan como una proteína biológicamente incompleta. Los resultados abordados difieren de los publicados por Valcárcel Yamani & da Silva Lannes (2012) quienes afirmaron que no presenta deficiencia aminoacídica en relación a los requerimientos de aa de los niños en edad preescolar y a lo hallado por Repo Carrasco (1991) en donde no se detectaron AAL para la variedad de

quinoa “Amarilla de Marangani” aunque luego se menciona que otras variedades analizadas poseen un CA elevado sin ser esta expresión un requisito para considerar a la proteína biológicamente completa.

Los AAL determinaron el score o puntaje químico de la proteína de quinoa, siendo 74, 23, 59, 51 y 73% para los lotes 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 respectivamente. El lote 2008, presentó el CA más bajo, con el Aa Valina como AAL y si bien el CA mejoró para el grupo de los escolares y adultos, no superó el 60%. En el lote 2007 la lisina fue el primer aa limitante, otorgándole a la proteína de quinoa un CA de 73,90%.

En los lotes 2009 y 2010 fueron limitantes los aminoácidos azufrados (AAS: metionina+ cisteína). Según Mufari (2010) el contenido de AAS determinado por hidrólisis acida normal, es entre un 10 y 15% inferior al obtenido por hidrólisis ácida oxidativa. Sin embargo, aun incrementando en un 15% el valor obtenido de AAS, continúan siendo los limitantes en la utilización de la proteína. Los AAL de estos lotes coinciden con los resultados aportados por Romo, *et al.* (2006) para la variedad Piartal, aunque el CA fue inferior (37%) al de los lotes 2009 y 2010 (Tabla 6.4.A).

Para el lote 2011, si bien el CA fue menor a lo informado por Ruales & Nair (1992), coinciden en que los principales a limitantes son los aminoácidos aromáticos (AAA: Fenilalanina + Tirosina). Estos autores también informaron como limitantes a lisina y treonina, que también fueron bajos en el lote 2011 para los niños en edad preescolar, sin embargo, la magnitud de las deficiencias fueron distintas.

Si bien el aporte nutricional de la proteína de quinoa mejora notablemente al disminuir los requerimientos de aa de los escolares y adultos, las HQ de los lotes 2008, 2009 y 2010 no presentaron proteínas biológicamente completas para ninguno de los tres grupos etarios. Sin embargo las proteínas de los lotes 2007 y 2011 son capaces de aportar todos los aminoácidos esenciales en concentraciones iguales o superiores a las requeridas por el grupo de adultos.

Si bien la calidad de un alimento depende de la proporción de AAL que presente en su proteína, la dieta no está constituida por un único alimento, por lo tanto, la calidad de la alimentación dependerá de las combinaciones de alimentos que se realicen.

En este sentido, es importante destacar que a pesar de que los valores de PDCAAS son bajos (Figuras 6.1. A. B y C) la quinoa puede complementarse de manera óptima con otros cereales como maíz, arroz y trigo. Así, el grupo de los cereales y derivados posee un CA de 68,8 en promedio y tienen como AAL a la lisina (Suarez *et al.*, 2006), pero es rico en AAS, justamente lo opuesto a la HQ obtenida de los lotes 2009 y 2010. Caso contrario ocurre con las legumbres, en donde la complementación con HQ de esos lotes no sería óptima ya que también son deficientes en AAS (Kata *et al.*, Amtfield & Nyachoti, 2009). Si bien la lisina fue 1° AAL en el lote 2007, la cantidad presente en la HQ triplica a la presente

en la HT (Tablas 6.2 y 6.3). También se puede mejorar la calidad proteica de las preparaciones culinarias añadiendo proteínas de origen animal.

6.4.2.3. Cómputo aminoacídico corregido por la digestibilidad teórica.

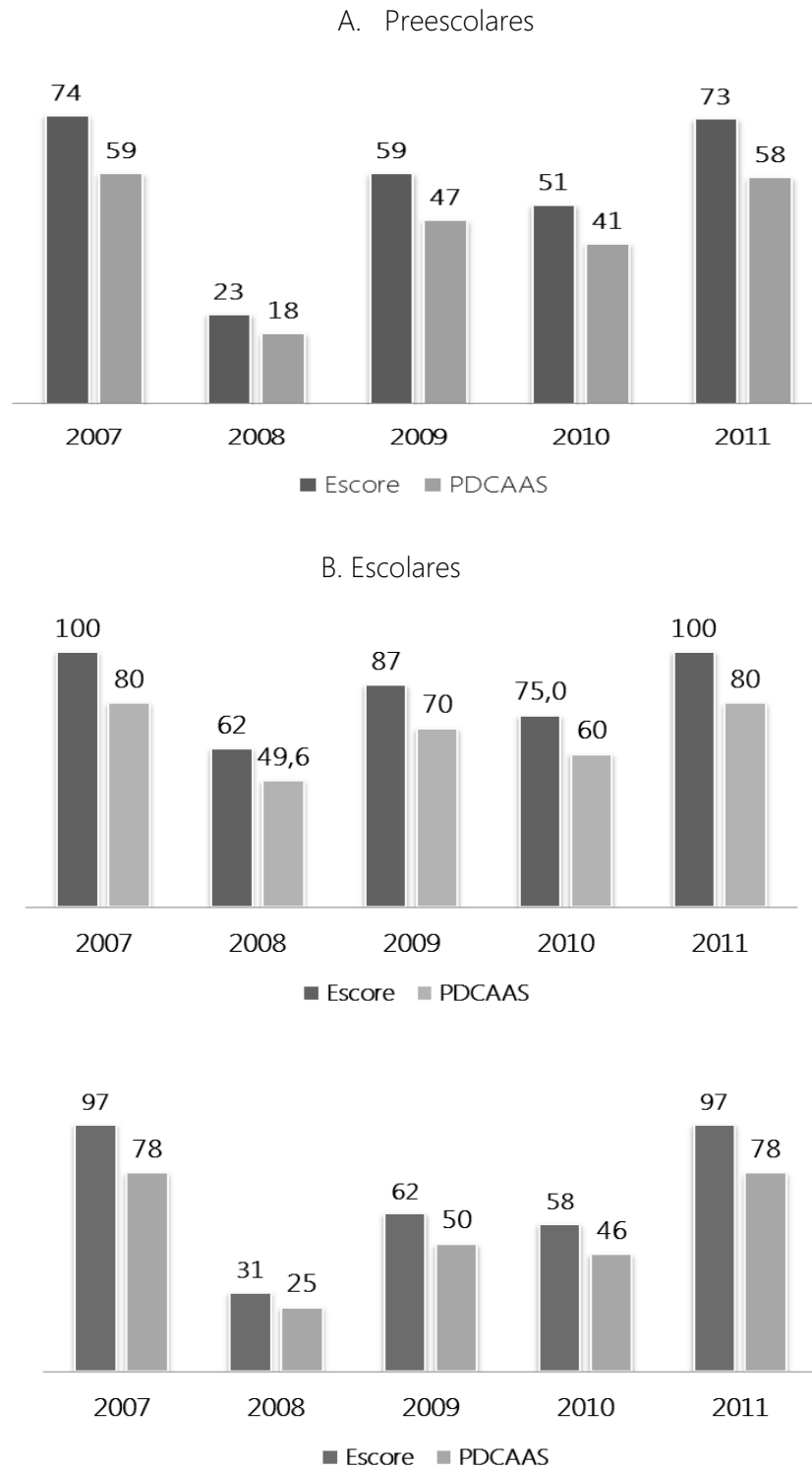


Figura 6.1 (A, B y C). Cómputo aminoacídico corregido por digestibilidad teórica.

6.4.3. Caracterización del perfil de ácidos grasos (AG) y estabilidad oxidativa de harina cruda y precocida de quinoa.

6.3.4.1. Perfil de ácidos grasos.

El ácido palmítico (C 16:0) fue el principal ácido graso saturado (AGS) presente en los aceites de quinoa estudiados. El contenido osciló entre 9 y 11 % (Tabla 6.5). Otros AGS fueron identificados en algunos lotes en concentraciones bajas, como por ejemplo, ácido esteárico (C18:0) en los aceites sin refinar de los lotes 2007 al 2010. En este último la concentración fue la más alta 1,03% y en los otros fue de 0,6 % para los lotes 2007 y 2008 y 0,1% para el lote 2009. El ácido araquídico (C20:0) se detectó en el lote 2010 en aceite proveniente de semillas crudas y precocidas (Tabla 6.5).

Los aceites estudiados presentaron cierta regularidad en las concentraciones de los principales AG y estos mostraron valores cercanos a los publicados en diversos trabajos de investigación (Tabla 1.6), excepto los aceites obtenidos de semillas de la cosecha 2011. Estos últimos tuvieron valores más altos de ácido linoleico (C18:2 ω -6) y menores concentraciones de ácido oleico (C18:1 ω -9) y ácido α -linolénico (C18:3 ω -9) (Tabla 6.5). El aceite de quinoa, al igual que numerosos aceites vegetales, presentó alta concentración de ácido linoleico (C18:2 ω -6), entre 51-59 % entre los lotes 2007 a 2010 y el lote 2011 entre 71 y 76 %. El ácido oleico fue el AG que siguió en concentración al linoleico. La cantidad de éste osciló entre 24-30 % para la mayoría de los lotes, y en el 2011, se encontró entre 11 y 17 % (Tabla 6.5). Lo mismo ocurrió con el ácido α -linolénico, el mencionado lote mostró la concentración más baja, entre 2 y 3 %, mientras que los restantes, cantidades similares a las publicadas en bibliografía (Tabla 1.6), entre 5 y 7 %. Además, en los trabajos citados en la Tabla 1.6 (Capítulo 1) fueron detectados otros AG como son el ácido behénico, erúcico, lignocérico y nervónico.

Las variaciones en los perfiles de AG podrían deberse a variaciones en las condiciones agronómicas de las plantas y también a factores genéticos (Ayorinde *et al.*, 1989).

Los perfiles de AG de los aceites de quinoa analizados coinciden con los datos publicados por Abugoch James (2009), Jahaniaval *et al.* (2000), Koziol, (1993), Wood *et al.* (1993) en cuanto a la similitud que presentan las concentraciones de ácido linoleico, linolénico y oleico en relación a los aceites de maíz y soja.

Tabla 6.5. Principales ácidos grasos de los aceites de quinoa extraídos.

A:

Nombre Común	LOTE										
	2007		2008		2009		2010		2011		
	A	ASP	A	ASP	A	ASP	A	ASP	A	ASP	
16:0	Palmítico	9,6	9,8	10,1	8,7	8,7	8,7	9,2	10,2	9,3	11,0
16:1	Palmitoleico	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-
18:0	Esteárico	0,6	-	0,6	-	0,1	-	1,03	-	-	-
18:1 (ω-9)	Oleico.	28,2	25,5	30,2	23,5	25,1	25,6	27,6	28,7	16,7	11,0
18:2 (ω-6)	Linoleico	53,3	58,6	50,7	58,9	58,9	59,4	55,0	53,2	71,4	76,4
18:3 (ω-3)	α-Linolénico	6,9	4,8	7,1	6,7	6,7	6,4	5,7	6,0	2,6	1,6
20:0	Araquídico	-	-	-	-	-	-	0,3	0,4	-	-
20:1	Gadoleico	-	1,4	1,5	1,8	1,8	-	1,2	1,3	-	-
20:2	<u>Eicosadienoico</u>	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-
20:4	Araquidónico	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGS	10,2	9,8	10,7	8,7	8,8	8,7	10,5	10,6	9,3	11,0	
	ÁGM	28,2	36,7	31,7	25,3	26,9	25,6	28,8	30	16,7	11,0
	AGP	61,7	63,4	57,8	65,6	65,6	65,8	60,7	59,3	74	78
	ω6/ω3	7,7	12,2	7,1	8,8	8,8	9,3	9,6	8,9	27,5	47,8
	AGP/AGS	6,0	6,5	5,4	7,5	7,5	7,6	5,8	5,6	8,0	7,1

Aceite crudo (sin refinar); ASP: aceite obtenido de semillas precocidas. (-) corresponde a ácidos grasos que no han sido identificados durante la cromatografía.

Se asemeja también al aceite de amaranto en cuanto a las concentraciones de ácido oleico y linoleico, pero el amaranto posee casi el doble de ácido palmítico y presenta apenas vestigios de ácido linolénico (Ayorinde *et al.*, 1989).

La alta concentración de AGPI hace que estos aceites se vuelvan especialmente sensibles a la oxidación lipídica, sin embargo, poseen estabilidad ante los fenómenos oxidativos debido a la relativamente alta concentración de antioxidantes naturales. Como se mencionó en el Capítulo 4, la concentración de tocoferoles varía según el método y tiempo de cocción aplicado a las semillas, sin embargo, a pesar de someter a las semillas a procesos culinarios que destruyen a esa vitamina, las concentraciones se mantienen relativamente altas.

El método de cocción parece no afectar de igual manera el contenido de AG, observándose diferencias entre lotes e incluso, entre distintos AG aún en un mismo lote. Rodas & Bressani (2009) no encontraron una tendencia única del efecto de la cocción en

medio húmedo sobre el perfil de AG de aceite de granos de amaranto cocidos y crudos de tres variedades. De los métodos de procesamiento efectuados en dicha investigación, el expandido fue el que mostró mayor efecto sobre la reducción de los AG (180 a 200 °C por 20 a 30 s). Así mismo, Vera *et al.* (2014) publicaron que no existe un efecto claro y diferenciado entre el perfil de AG de aceite de SQ cruda y sometida a cocción húmeda, aunque observaron menores variaciones en la concentración de AG que los hallados en el presente trabajo (Tabla 6.6).

Tabla 6.6. Efecto del procesamiento en el contenido de los principales ácidos grasos del aceite de quinoa. Comparación con datos bibliográficos.

AG	Lote					Vera <i>et al.</i> , 2014.			Rango de variación (%) Incremento y descenso
						Cocción Húmeda			
	2007	2008	2009	2010	2011	Salcedo	Negra Collana	Pasankalla	
C16:0	+2,2	-13,6	+0,2	+11,2	+18,3	+0,5	+0,8	-9,3	-14 a 18
C18:1 (ω -9)	-9,5	-22,1	+1,2	+4,0	-33,7	+2,2	-7,2	+23,9	-34 a 4
C18:2 (ω -6)	+9,9	+16,4	0,7	-3,2	+6,9	-0,8	+0,7	-6,9	-3 a 16
C18:3 (ω -3)	-30,4	-5,0	-4,5	+6,2	-37,8	-0,5	0	8,1	-38 a 6

Los cálculos se realizaron considerando que en el aceite crudo de encuentra el 100% del contenido de AG en cuestión, por lo tanto, los valores representados en la tabla de incremento o descenso fueron expresados en porcentajes. Signos positivos (+) indican incremento; signos negativos (-) indican disminución del contenido en la SP, respecto a la SC.

La relación entre el contenido de AGP y AGS se expresa como índice P/S. En la dieta, es importante que el valor del índice sea superior a 1, debido al carácter esencial del ácido graso linoleico (ω -6) (OMS, 1982). Entre los 5 lotes de semillas aquí estudiadas, tal relación se mantuvo entre 5,4 y 8 tanto en aceites extraídos de semillas crudas como precocidas. Los valores obtenidos fueron similares a los publicados por Álvarez Jubete *et al.* (2009) y algo superior a los hallados por Wood *et al.* (1993).

También, la relación ω -6/ ω -3 fue mayor en los aceites analizados en el presente estudio que los encontrados por Álvarez Jubete *et al.* (2009). Es importante conocer estos índices durante el desarrollo de planes de alimentación saludables, para cubrir las recomendaciones de grasas con una correcta relación, no sólo de AGP/AGS, sino también entre AG ω -6/ ω -3.

La dieta moderna es rica en ω -6 y deficiente en ω -3, por ello la OMS recomienda, como mínimo, utilizar aceites que garanticen relaciones ω -6/ ω -3 de 5:1 a 10:1 (Ettinger, 2001). En el presente trabajo esas relaciones se encontraron entre 8:1 a 12:1.

6.4.3.2. Estabilidad oxidativa de las harinas crudas y precocidas de quinoa.

La temperatura, el tiempo, la composición de AG, y las condiciones de almacenamiento son variables de gran influencia sobre la estabilidad oxidativa de los aceites. En este trabajo se emplearon condiciones de almacenamiento tales que evitaran o retardaran el daño oxidativo e hidrolítico sobre los lípidos de las harinas (Subsección 6.3.5.2).

A pesar del elevado contenido lipídico de las HC y HP, 7,16% y 6,47%, respectivamente y del predominio de AGPI (Tabla 6.5), los niveles de AGL se mantuvieron bajos durante todo el período de tiempo y condiciones de almacenamiento estudiadas. El deterioro hidrolítico por acción enzimática fue bajo, tal como se presenta en la Tabla 6.7.

Como se mencionó en la introducción, los triglicéridos representan más del 70% de los lípidos neutros de la quinoa (Przybylski, *et al.*, 1994). Estos constituyen el principal sustrato de lipasas, que se encargan de liberar los AG correspondientes. Además, estos AG son altamente reactivos, especialmente si son insaturados (Badui Dergal, 2006). Esta baja actividad lipásica podría deberse a la posible inactivación ocasionada por desnaturalización térmica durante el proceso de secado, en el cual las semillas se someten a 50°C. Según Rembado & Sceni (2009) habitualmente es suficiente aplicar una temperatura de entre 40 a 80°C por 2 a 5 min, para producir la inactivación térmica de las enzimas. Por lo tanto, tanto la temperatura como el tiempo de secado aplicados habrían sido suficientes para inactivar las lipasas de la quinoa. Sin embargo, Badui Dergal (2006) menciona que la inactivación de la mayoría de las enzimas se produce a más de 60°C. Por otro lado, la temperatura de almacenamiento (25°C) empleada durante el ensayo no sería la óptima para la actividad lipásica. Badui Dergal (2006) y Rembado & Sceni (2009) plantean que el intervalo óptimo de temperatura donde la mayoría de las enzimas logran mayor actividad se encuentra entre 30 y 45°C.

Tabla 6.7. Acidez libre (AL) y dienos conjugados (DC) en harina cruda y precocida de quinoa.

HC			HP	
	% de Ácido Oleico	DC $\mu\text{M/g}$	% de Ácido Oleico	DC $\mu\text{M/g}$
T0	DLC	0,067 \pm 0,003	0,019 \pm 0,004	0,080 \pm 0,004
T1	0,028 \pm 0,001	0,121 \pm 0,019	0,020 \pm 0,001	0,176 \pm 0,008
T2	0,030 \pm 0,020	0,119 \pm 0,025	0,028 \pm 0,003	0,209 \pm 0,014
T3	0,037 \pm 0,008	0,098 \pm 0,007	0,033 \pm 0,006	0,196 \pm 0,009
T4	0,031 \pm 0,011	0,101 \pm 0,006	0,031 \pm 0,001	0,2100 \pm 0,002
T5	0,024 \pm 0,002	0,158 \pm 0,002	0,023 \pm 0,016	0,305 \pm 0,011
T6	0,022 \pm 0,002	0,146 \pm 0,008	0,033 \pm 0,003	0,261 \pm 0,020
T7	0,021 \pm 0,003	0,241 \pm 0,036	0,037 \pm 0,005	0,281 \pm 0,047
T8	0,027 \pm 0,006	0,260 \pm 0,026	0,049 \pm 0,013	0,289 \pm 0,014
T9	0,027 \pm 0,006	0,264 \pm 0,001	0,038 \pm 0,009	0,298 \pm 0,006
T10	0,028 \pm 0,006	0,274 \pm 0,001	0,059 \pm 0,011	0,305 \pm 0,003

T0: indica el tiempo de inicio del ensayo; T1: Toma de muestra a los 14 días y así sucesivamente.
DLC: Debajo del Límite de Cuantificación: 0,0006 moles de ácido/g de harina.

Rose & Pike (2006) han determinado que la temperatura óptima para la actividad lipásica va de los 40° a los 55°C. Si la temperatura óptima se encuentra en ese rango, la hipótesis de la inactivación térmica durante el secado no sería válida. Su-Chuen *et al.* (2007) establecieron que a 45-55°C los valores de AGL en quinoa aumentan sustancialmente.

Se encontraron diferencias notables en los valores de AGL entre los resultados de AGL presentados en la Tabla 6.7 y los publicados por Su-Chuen *et al.* (2007). A tiempo cero el porcentaje de ácido oleico declarado por el autor citado, es similar a los valores determinados en el presente trabajo a los 4 meses y medio de iniciado el ensayo y sólo en la harina proveniente de SP.

Los indicadores empleados para analizar la estabilidad de las HC de quinoa, inducen a pensar que se pueden almacenar adecuadamente, por lo menos por 4 meses y medio, en las condiciones ensayadas. Pajarito Parker, en el análisis de conservación de las HQ, afirmó que se conservan en buen estado y apta para el consumo, incluso después de seis meses, aún en las condiciones más desfavorables, es decir, a la mayor temperatura de almacenamiento (40°C); sin embargo, recomienda almacenarlas a 20°C, al igual que se realizó en el presente trabajo, dado que así obtuvo un menor índice de peróxidos. Este autor empleó papel kraft durante el almacenamiento y harinas con menor granulometría, ambos

parámetros podrían haber influido también en el daño oxidativo de las harinas reduciendo la vida útil.

La harina proveniente de SP presentó valores más altos de AGL que la harina proveniente de SC. Esta diferencia podría deberse a la acción combinada de la temperatura (*circa* 120°C) y presión (1 At) de cocción, sobre los triacilgliceroles (TAG). Estos factores favorecen la hidrólisis de los lípidos neutros con posterior liberación de los AG constituyentes. La velocidad de oxidación es mayor para los AGI en estado libre que cuando se encuentran esterificados, constituyéndose así en los principales sustratos de la oxidación (Badui Dergal, 2006).

El hallazgo de mayores valores de AGL en la HP coincide con los resultados obtenidos para dienos conjugados, ya que estos también fueron más elevados en este material, posiblemente por la mayor disponibilidad de AGL como sustratos oxidables.

Cómo se mencionó en el Capítulo 4, la quinoa se caracteriza por su destacable aporte de tocoferoles, que actúa como un antioxidante natural contra la oxidación lipídica. Sin embargo, el método de cocción empleado, no es el que mejor conservó esta vitamina. Por lo tanto, la acción combinada de una mayor exposición al oxígeno y las altas temperaturas, durante la precocción de las semillas, tendría como consecuencia la reducción de su acción antioxidante. Este motivo, sumado al incremento de la disponibilidad de sustrato oxidable podrían ser los responsables de la mayor formación de dienos conjugados en la HP que en la HC, donde se conservaría gran parte de efecto protector de la vitamina E.

6.4.4. Caracterización de los hidratos de carbono.

6.4.4.1. Contenido de fibra dietética total (FDT), fibra detergente ácida (FDA) y carbohidratos disponibles (CD) en HQ.

Tabla 6.8. Contenido de fibra dietética total, fibra detergente ácida y carbohidratos disponibles en harinas de quinoa.

A. Harina Cruda

g%	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011 ¹
FDT	7,62±0,14	7,71±0,04	7,26±0,06	7,06±0,06	8,82±0,84
FDA	5,09±0,42	5,23±0,33	4,41±0,88	3,56±0,50	3,57±0,18
H de C ²	72,73±0,84	73,26±0,51	77,51±0,98	76,98±1,19	73,17±0,89
CD	65,11±0,94	65,55±0,37	70,25±1,04	69,92±1,25	64,35

CD: Carbohidratos disponibles: Suma del almidón + azúcares simples. ¹ Resultados extraídos de la

Tabla 5.9.A. ² Resultados extraídos de la Tabla 6.1.

A. Harina Precocida

g%	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011 ¹
<i>FDT</i>	8,68±0,08	9,86±0,88	7,67±0,13	9,93±0,09	9,81±0,51
<i>FDA</i>	4,74±0,62	5,14±0,11	3,14±0,71	3,61±0,16	6,00±0,35
<i>H de C²</i>	77,14±0,52	77,20±0,41	79,13±0,95	78,26±0,98	76,79±1,35
<i>CD</i>	68,46±0,60	67,34±1,29	71,46±1,08	68,33±0,89	66,98±0,84

CD: Carbohidratos disponibles: Suma del almidón + azúcares simples. ¹ Resultados extraídos de la Tabla 5.9.B. ² Resultados extraídos de la Tabla 6.1.

En la Tabla 6.8. A y B se presentan los resultados de FDT, FDA y CD de las HQ. El contenido de FDT varió entre 7 y 9% entre las HC y entre 7,7 y 10% en las HP. En todos los lotes se observó una tendencia creciente en el contenido de FDT en las HP respecto de las HC. Esta tendencia fue mencionada anteriormente en el Capítulo 5, durante el análisis de FDT de las HQ del lote 2011 obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda. Allí se atribuyó este incremento a la posible formación de almidón resistente (AR) Tipo 3 durante el proceso de precocción de las SQ.

Por otro lado, el contenido de FDA se encontró entre 3 y 5% y 3 y 6% en las HC y HP respectivamente. En esta fracción de la fibra, no fue posible establecer una tendencia, dado el amplio rango de los resultados.

Por último, los CD se encontraron entre 60 y 70% en las HC y HP de quinoa. El valor de CD es de mayor utilidad en términos del análisis nutricional de las harinas que el contenido de H de C totales, obtenidos por diferencia.

6.4.4.2. Azúcares reductores libres (ARL) en harinas crudas y precocidas de quinoa.

Tabla 6.9. Azúcares reductores libres (%) en harinas crudas y precocidas de quinoa.

ARL	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
<i>HC</i>	3,09±0,53 b	3,41±0,12 b	4,51±0,56 c	6,84±0,38 d	6,47±0,77 d
<i>HP</i>	0,63±0,05 a	0,67±0,08 a	0,71±0,18 a	1,23±0,26 a	0,70±0,17 a
<i>% de R</i>	80	80	84	83	89

% de R: % de Reducción de los ARL.

Letras iguales, indica que no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$).

(Ver Anexo 6, Tabla 6.9)

El contenido de ARL en las HQ crudas osciló entre 3% a 6,7%. Los lotes 2009, 2010 y 2011 superaron los valores de azúcares simples publicados por Abugoch James (2009) y

Ahamed *et al.* (1998). Datos reportados por Repo Carrasco (1992) y Dini *et al.* (2005) mencionan que entre glucosa y fructosa el porcentaje de ARL en quinoa es 1,9% y 3,23% respectivamente. Si bien estos valores son inferiores a lo mencionado en la Tabla 6.9, es interesante recordar aquí que con la técnica empleada se miden todos los ARL, no exclusivamente glucosa y fructosa, por lo que la diferencia podría atribuirse a ello. Otra fuente de variación podría estar relacionada a la variedad de quinoa de la se trate.

Se observó un efecto significativo del lote ($<0,0001$), tratamiento (HC vs. HP) ($<0,0001$) y de la interacción de ambas variables ($<0,0001$) sobre el contenido de ARL de las harinas (Ver Anexo 6, Tabla 6.9). El contenido de ARL fue mayor para las HC que para las HP. No se observaron diferencias significativas en el contenido de ARL entre las HC de los lotes 2007 y 2008, y entre los lotes 2010 y 2011. Sin embargo, estos dos grupos de harinas fueron diferentes entre sí y respecto del lote 2009. A pesar de estas diferencias en las HC, en las HP no se observaron diferencias entre los lotes. En la Tabla 6.9 queda en evidencia la reducción del contenido de azúcares durante el proceso de cocción de las SQ. Reducciones que oscilaron entre el 80 y 90%. Sin embargo, en el análisis de los ARL realizado en las AC (Tabla 4.9) las concentraciones detectadas son notablemente más bajas. Esto induce a pensar que la reducción en el contenido de azúcares no se debe sólo a la solubilización, sino que hay otras vías por las cuales se reducen. Una de ellas podría estar relacionada a la formación de compuestos entre los grupos carbonilo de los ARL y los amino libres en las proteínas, a través de la Reacción de Maillard (Fenemma, 1996); de esta manera, el ácido 3,5-dinitrosalicílico se vería imposibilitado de reaccionar durante la determinación. En el Capítulo 5, se mencionó también la posibilidad de que la Reacción de Maillard se produjera en las SQ durante la cocción, ya que en las SP se observó un cambio de color notable en las semillas, corroboradas por las mediciones realizadas con el colorímetro sobre mismas las harinas, con valores más altos para el parámetro b^* para las HP, respecto a las HC. A su vez, podría producirse adhesión de azúcares a los elementos presentes durante la cocción como fueron las bolsas de lienzo, la vaporiera metálica o las paredes del recipiente de cocción.

6.4.4.3. Contenido de azúcares reductores libres y azúcares totales medidos por titulación potenciométrica redox en harina de quinoa.

La medición de los ARL realizada sobre HC y HP obtenidas a partir de SQ del lote 2009 arrojó los siguientes resultados:

Tabla 6.10. Azúcares reductores libres y azúcares totales en harina de quinoa (g%)

	ARL	AT
HC	4,41± 0,09	67,56±0,14
HP	1,23±0,18	-
% de R	72	-

% de R: Porcentaje de Reducción; el guion (-) indica que no fue realizada la medición.

El contenido de ARL en la HC de quinoa del lote 2009 medido por titulación potenciométrica no presentó diferencias con los resultados obtenidos aplicando como técnica analítica la reacción entre los grupos reductores de los azúcares y el reactivo 3,5 dinitrosalicílico (Tabla 6.9).

Por otro lado, la diferencia entre la medición de los AT y los ARL, permite estimación al contenido de almidón de la muestra, que en este caso sería de 63,15±0,23%.

En principio, tanto AT como CD, deberían ser comparables, ya que ambos miden tanto azúcares libres como los asociados al almidón. Si se compara el resultado de CD en HC del lote 2009 (Tabla 6.8), obtenido a partir de la diferencia entre el valor de carbohidratos totales y la FDT, que fue próximo al 70% y el que figura en la Tabla 6.10 para AT, cerca 68%, se puede observar que las diferencias entre uno y otro método de determinación son escasas.

Esa diferencia de aproximadamente el 2% también se observa en el contenido de almidón, según se calcule a partir de la diferencia entre CD y ARL o entre AT y ARL, obteniéndose casi 66% para el primer caso y 68% para el segundo.

6.4.4.4. Contenido de glucosa en harina cruda y precocida de quinoa.

Tabla 6.11. Contenido de glucosa en harina cruda y precocida de quinoa.

g%	Lotes				
	2007	2008	2009	2010	2011
HC	0,80±0,27 b	0,66±0,1 b	0,85±0,19 b	2,04±0,52 c	1,79±0,16 c
HP	0,16±0,01 a	0,07±0,01 a	0,1±0,01 a	0,24±0,06 a	0,2±0,02 a
% de P	80	89	99	88	89

% de P: % de Pérdida de glucosa. Letras iguales, indica que no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$). (Ver Anexo 6, Tabla 6.11)

Al igual que lo acontecido con los ARL, hubo un efecto significativo del lote ($p < 0,0001$), del tratamiento (HC vs. HP) y de la interacción de ambas variables sobre el contenido de glucosa de las harinas ($p < 0,0001$).

El contenido de glucosa en las HC osciló entre 0,66 y 2%. Los lotes 2007 a 2009 no presentaron diferencias en el contenido de glucosa, pero si fueron diferentes de las HC de

los lotes 2010 y 2011. Los tres primeros lotes tuvieron un contenido inferior de glucosa al publicado por Repo Carrasco (1992) en Repo Carrasco *et al.* (2003).

En los cinco lotes analizados, y al igual que en los ARL, las HP tuvieron menores concentraciones del monosacárido, oscilando entre 0,07 y 0,24%, y no hubo diferencias significativas entre ellas en la cantidad presente (Tabla 6.11). Las pérdidas en glucosa de las HP, respecto de las HC se encontraron entre 80 y 99%.

6.4.4.5. Microscopías Electrónicas del almidón de quinoa.

Las Figuras 6.2. A y B muestran la microestructura de gránulos de almidón de quinoa. El diámetro de los gránulos se estableció en valores $\leq 2 \mu\text{m}$, y como se presenta en las figuras, la mayoría tienen forma poligonal y tamaño uniforme. Además, pueden presentarse aislados o conformando agregados (Figura 6.2. A y B). Estos resultados son coincidentes con los aportados por Varraino Martson & De Francisco (1984); Lorenz & Collins (1990); Ruales & Nair (1994); Stefolani *et al.* (2013); Mujica *et al.* (2001) y Gallardo *et al.* (1997).

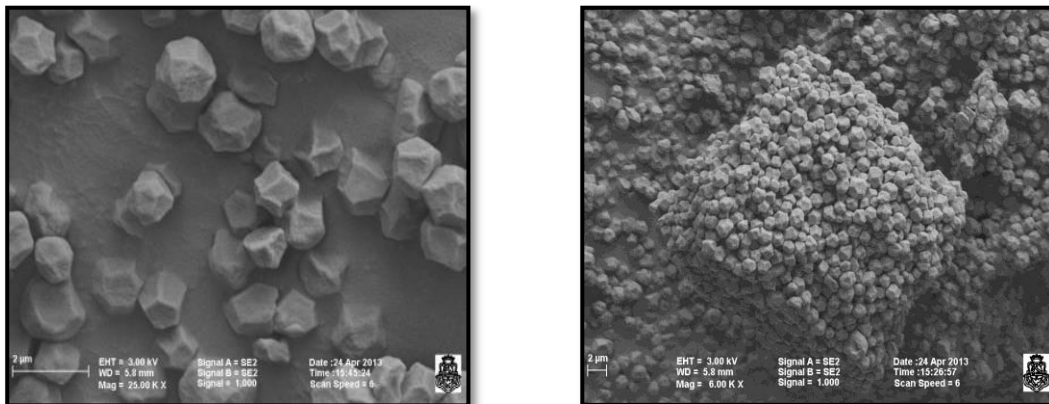


Figura 6.2. Microestructura de gránulos de almidón de quinoa.

Las suspensiones concentradas que de él se obtienen adquieren una textura cremosa y suave, similar a la que otorgan las grasas. La opacidad propia de las pastas de almidón de quinoa se debería a esta característica del gránulo y resulta útil para la elaboración de aderezos (Ahamed *et al.*, 1996).

6.4.4.6. Contenido de amilosa en almidón de quinoa.

Tabla 6.12. Contenido de amilosa en almidón de quinoa.

Amilosa (%)	LOTE				
	2007	2008	2009	2010	2011
	12,06±0,35 b	7,84±0,11 a	15,55±0,34 c	13,34±0,00 c	14,34±0,96 c

Letras iguales, indica que no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,01$). (Ver Anexo 6,

Tabla 6.12)

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el contenido de amilosa de los almidones provenientes de los distintos lotes (Tabla 6.12). Así, los lotes 2007 y 2008 presentaron menor contenido del alfa-glucano que los tres lotes restantes y las diferencias fueron notables entre ambos grupos. El contenido de amilosa, así como de otros constituyentes de las semillas, es variable y puede alcanzar valores de hasta 27%, tal como se mencionó en la introducción. Sin embargo, en general se reconoce que el almidón de quinoa es de tipo “ceroso”. Las harinas aquí analizadas, se encontraron dentro de esta clasificación, con contenidos de amilosa que fueron desde 7,84% a 15,65% (Tabla 6.12). Estos resultados coinciden con los de Ahamed *et al.* (1996); Koziol (1992); Lindeboom *et al.* (2005); Stefolani *et al.* (2013) y Tang *et al.* (2002). El rango de valores mencionado del contenido de amilosa es inferior al de cereales como el arroz (17%), el trigo (22%) o la cebada (26%) (Jancurová *et al.*, 2009), pero mayores a los reportados por Yangzhou & Stuttgart (1999). El contenido de amilosa del gránulo de almidón, es determinante en las propiedades funcionales como son: viscosidad, capacidad de retención de agua, solubilidad, poder de hinchamiento y gelatinización. En este sentido, el almidón de quinoa mostró buenas cualidades para ser incorporado en alimentos elaborados que necesiten modificaciones en su textura.

6.4.4.7. Propiedades de *pasting* de las harinas crudas y precocidas con y sin desengrasar, almidón de quinoa, fécula de mandioca, almidón de maíz y harina de arroz.

Almidón de quinoa, fécula de mandioca, almidón de maíz y harina de arroz.

A medida que la temperatura asciende se observa un incremento de la viscosidad, producto del hinchamiento de los gránulos y del rozamiento entre ellos. Este aumento de la viscosidad ocurrió hasta formar un pico (PV) o “gelatinización”, momento en el que el comienza la ruptura de los gránulos hinchados y que ocurre principalmente por la agitación mecánica y provoca una caída más o menos brusca de la viscosidad, dependiendo ello del grado de susceptibilidad del gránulo de almidón en estudio (Atwell *et al.*, 1988) (Figura 6.4).

El fenómeno de *pasting*, se inicia cuando el gránulo de almidón se encuentra totalmente gelatinizado; la temperatura de *pasting* (PT) se establece en el punto de inflexión de la curva, cuando, los gránulos comienzan a hincharse y la fricción entre ellos ocasiona el rápido ascenso de la viscosidad (Crosbie & Ross, 2009). El pico de viscosidad (PV) se produce en el punto de equilibrio entre la hinchazón de los gránulos y su consecuente rotura, principalmente por acción mecánica ejercida sobre ellos. Este fenómeno genera la lixiviación de las moléculas de amilosa. Cuando estas moléculas comienzan a alinearse, la viscosidad comienza a caer, hasta alcanzar el valle. El valor de *breakdown* (BD) permite conocer la estabilidad del gránulo frente a la cocción (Santhi & PoongodiVijayakumar, 2013) y está íntimamente relacionado con la capacidad de los almidones de soportar la acción conjunta del calentamiento y la tensión de cizalla. Cuando la temperatura comienza a descender las moléculas de almidón se re-asocian, especialmente las de amilosa, sucediendo un nuevo incremento de la viscosidad. El valor de *setback* (SB) está vinculado con la retrogradación del almidón (Santhi, & PoongodiVijayakumar, 2013). En la siguiente figura (Figura 6.3) se representan sobre un gráfico típico de RVA, las distintas magnitudes arriba descriptas.

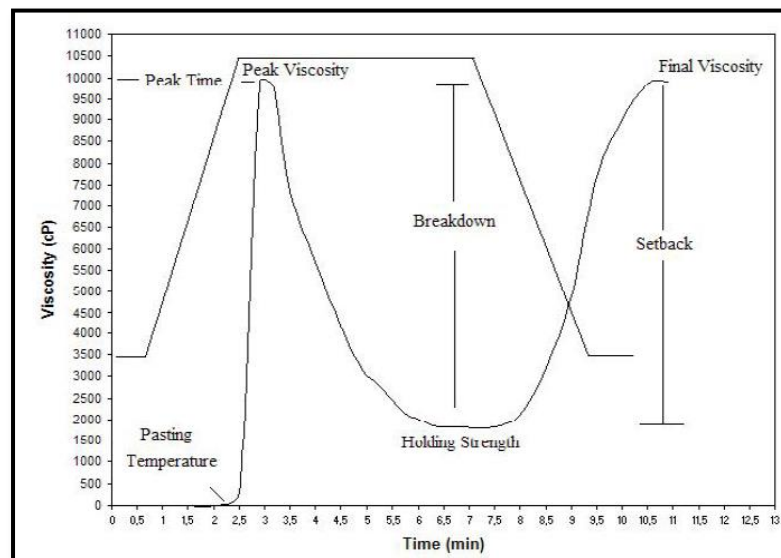


Figura 6.3. Curva representativa de *pasting*

El BD mostró diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los almidones, la mayor fue para mandioca, seguido por arroz, maíz y por último el AQ (Tabla 6.13). Los PV más elevados fueron acompañados de mayores BD y viceversa. La mandioca mostró mayor capacidad de absorber agua e hincharse, presentando el mayor PV y el BD más pronunciado (Tabla 6.13, Figura 6.4). En el otro extremo, la quinoa mostró los resultados más bajos para ambos parámetros. Los valores de BD están relacionados con la capacidad de los almidones de soportar la acción conjunta del calentamiento y la tensión de

cizallamiento del ensayo, de aquí surge que la mandioca presenta poca resistencia a la acción de dichos factores, siendo la quinoa la de mayor resistencia.

Tabla 6.13. Propiedades de *pasting* de los almidones.

	PV(cP)	BD(cP)	VF(cP)	SB(cP)	PT (min)	TP(°C)	Tamaño de gránulo (µm)	A (%)
AQ	3810,5 a	529,5 a	4676,5 c	866,0 a	6,5 c	66,5 a	2	13,3
FM	5970,0 a	4165,0 d	3305,0 a	1500,0 b	3,4 a	66,6 a	201	17
FMZ	4064,5 a	1642,5 b	4115,7 b	1697,5 b	5,2 b	76,1 b	151	27-272
HAZ	4511 a	2013 c	5025,8 c	2527,8 c	5,7 b	80,7 c	mar-83	174-333

AQ: Almidón de Quinoa; FM: Fécula de Mandioca; FMZ: Fécula de Maíz; HAZ: Harina de Arroz. PV: *Peak viscosity*; BD: *Breakdown*; VF: *Final viscosity*; SB: *Setback*; PT: Temperatura de *pasting*; TP: tiempo del PV, A%: Porcentaje de amilosa.¹ Ellis, *et al.*, col., 1998; ² Agama Acevedo, Ottenhof, Farhat, Paredes López, Ortíz Caceres, & Bello Pérez, 2005; ³ Normand & Marshall, 1989; ⁴ Badui Dergal, 2006. *Letras iguales en una misma columna, indica que las medias no son significativamente diferentes (p<0,05) (Ver Anexo 6, Tabla 6.13).*

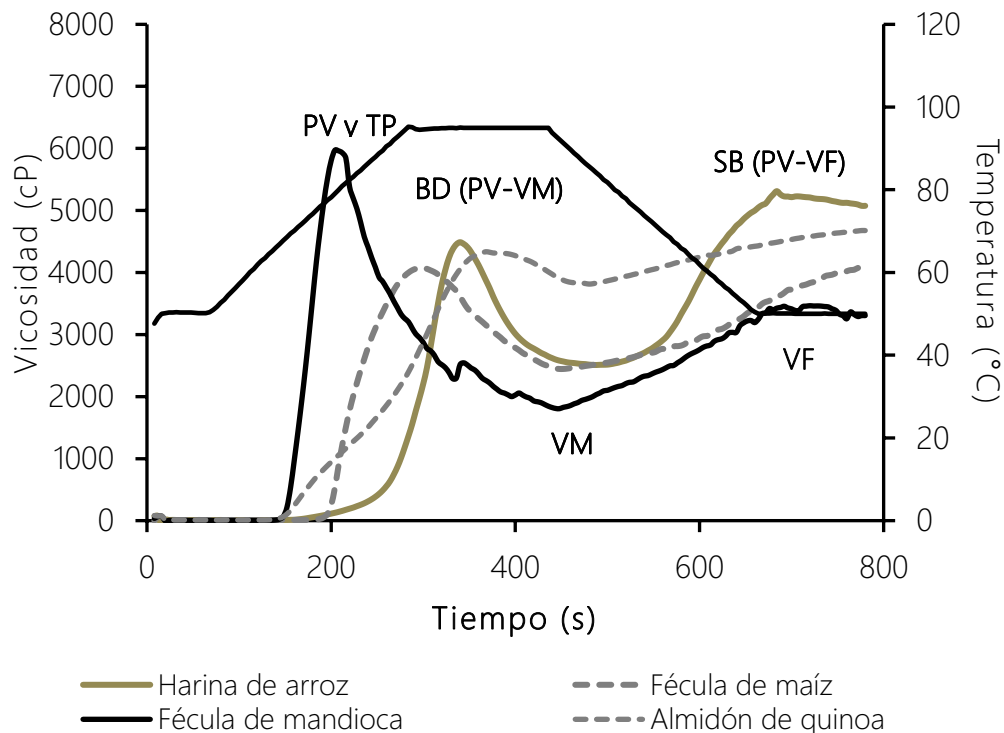


Figura 6.4. Curvas de RVA de almidones de quinoa, maíz, arroz y mandioca.

La quinoa también presentó diferencias significativas (p-valor = 0,0003) con los otros almidones en su valor SB. Los bajos valores de BD y SB dan a la pasta de almidón de quinoa mayor estabilidad en la cocción con agitación, lo cual lo hace útil como espesante de rellenos superficiales de tartas, y menor tendencia a retrogradar que las otras (Araujo Farro *et al.*, 2005).

El contenido de amilosa es uno de los factores más influyentes en el fenómeno de retrogradación (Badui Dergal, 2006; Gudmundson & Eliasson, 1990; Batey, 2009). El valor de SB es afectado en forma directa por el contenido en amilosa (Lindeboom, *et al.*, 2005; Santhi & Poongodi Vijayakumar, 2013). El AQ analizado presentó el menor valor de amilosa y de SB (Tabla 6.13). Estos resultados coinciden con los de Araujo Farro *et al.* (2005).

No se observaron diferencias significativas entre el AQ y la FM en cuanto a sus temperaturas de *pasting*, siendo más bajas que para maíz y arroz (Tabla 6.13). Con respecto al PT, la FM fue el único almidón de los estudiados que presentó un PT a una temperatura inferior a la máxima (Figura 6.4) característico de los almidones que se hinchan rápidamente en agua (Batey, 2009). Es interesante destacar que el AQ fue el que más tiempo demoró, seguido de almidón de maíz y harina de arroz. Esto indica una relativa dificultad de las moléculas de agua para penetrar y difundir dentro del gránulo de almidón quinoa. La hidratación lenta es una característica de los almidones con gránulos pequeños (Lorenz & Collins, 1990). La mandioca, con mayor tamaño de gránulo (Tabla 6.13), se hidrata a mayor velocidad (Ellis *et al.*, 1998).

La TP proporciona información útil sobre la temperatura mínima requerida para cocinar una muestra con agitación. Es importante conocerla ya que puede afectar la estabilidad de otros componentes presentes y, junto con la entalpía de gelatinización, se vincula con el costo energético que demandaría el procesamiento del almidón (Santhi & Poongodi Vijayakumar, 2013).

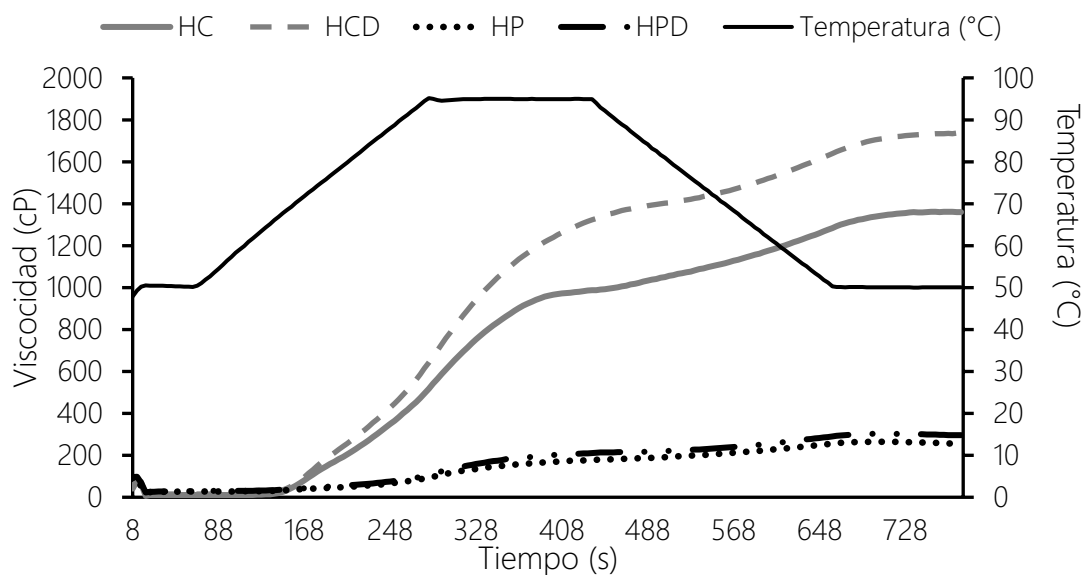
Harinas Crudas y Precocidas con y sin desengrasar

No se observaron picos pronunciados en las curvas de *pasting* analizadas (Figura 6.5), en consonancia con los resultados de Ruales & Nair (1994). Las propiedades de *pasting* de las harinas provenientes de los distintos lotes mostraron diferencias en los parámetros analizados (PV, BD, SB, FV, Ptemp y PT), según sea el tratamiento al que se sometieron las semillas (Tabla 6.14).

De los cinco lotes analizados, sólo el 2008 presentó diferencias significativas entre HP y HPD, para casi todos los parámetros estudiados, excepto en el PV. En los restantes lotes las diferencias fueron mayoritariamente no significativas entre las HP y las HPD (Tabla 6.14).

Lo más notorio es la marcada caída de los parámetros viscosos de las HP, respecto a las HC (Tabla 6.14 y Figura 6.5) y que se explicaría por la gelatinización del almidón en las primeras, el cual ha perdido buena parte de su capacidad de hinchamiento y reduciendo así su capacidad viscosante. El tratamiento de precocción de las semillas tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en las propiedades de *pasting* de las harinas (Figura. 6.5). Lai (2001)

publicó que el PV, y BD en harinas de arroz pregelatinizadas fueron inferiores a las versiones que no recibieron tratamiento hidrotérmico y que la PT y FV fueron superiores. Los resultados abordados coinciden con los de Ruales & Nair (1994), quienes observaron que las harinas provenientes de semillas cocidas y autoclavadas produjeron suspensiones menos viscosas que las harinas de semillas no cocidas. El efecto de precocción se puede percibir incluso entre harinas desengrasadas, aunque en este caso, con menor intensidad. Tanto la HC como la HP mostraron valores más bajos de los parámetros estudiados, respecto de las versiones desengrasadas. Diversos componentes presentes en los alimentos pueden interactuar con el almidón, alterando su temperatura y velocidad de gelatinización. Sharma & Gujral (2010) publicaron las propiedades de *pasting* de distintas variedades de cebada y hallaron tendencias similares, con los valores más altos de PV en las muestras con menor contenido graso.



HC: harina cruda; HCD: harina cruda desengrasada; HP: harina precocida y HPD: harina precocida desengrasada.

Figura 6.5. Efecto del tratamiento (HC, HP, HCD y HPD) sobre las propiedades de *pasting* de las HQ.

Tabla 6.14. Propiedades de *pasting* de las harinas crudas y precocidas de quinoa de con y sin grasa.

<i>Lotes</i>	<i>Tratamiento</i>	<i>PV</i>	<i>BD</i>	<i>FV</i>	<i>SB</i>	<i>PT</i>	<i>PTemp</i>
2007	HC	932 b	82 b	1316,5 b	470,5 b	6,8	89,4
	HCD	978 b	92,5 b	1327 b	478,5 b	7,0	88,4
	HP	184,5 a	28,0 a	294,5 a	138,0 a	7,0	-
	HPD	949 c	73,5 b	1324,5 c	449 c	7,0	87,6
2008	HC	949 c	73,5 b	1324,5 c	449 c	7,0	87,6
	HCD	1187,5 d	148,5 c	1677,5 d	638,5 d	7,0	83,6
	HP	131 a	16,5 a	190 a	75,5 a	7,0	-
	HPD	212,5 b	29,5 a	310,5 b	127,5 b	7,0	-
2009	HC	1288 b	108,5 b	1757,5 b	578 b	6,8	79,0
	HCD	1733 c	275,5 c	2223 c	765,5 c	-	70,6
	HP	100,5 a	12,5 a	150 a	62 a	7,0	-
	HPD	129 a	17,5 a	245 a	84 a	7,0	-
2010	HC	852 c	105 b	1184,5 b	437,5 b	7,0	70,6
	HCD	1593 d	237 c	2078 b	722 c	7,0	69,3
	HP	343 a	26 a	466,5 a	149,5 a	7,0	-
	HPD	596,5 b	30,5 a	641,5 a	129 a	7,0	-
2011	HC	936,5 b	91,5 b	1293 a	448 b	7,0	71,1
	HCD	1107,5 c	120 c	1509 a	521,5 b	7,0	80,0
	HP	112 a	13,5 a	178 b	79,5 a	7,0	-
	HPD	150 a	19 a	236,5 b	105,5 a	7,0	-
Harina de cebada ¹		1251-2122	287-916	1623/2329	351/1127	s/d	81-86
Harina de trigo ²		2549	529	2996	976	6,9	88,2
Harina de arroz ²		2949	700	4467	2218	5,7	77

HCD: Harina Cruda Desengrasada; HPD: Harina Precocida Desengrasada. ¹ Sharma & Gujral, 2010; ² Araujo Farro et al., 2005; Blazek & Copeland, 2008.

Letras iguales en una misma columna y en un mismo lote, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) (Ver Anexo 6, Tabla 6.14)

Blazek & Copelan (2008) reportaron una correlación negativa entre el total de amilosa y PV, FV, BD y SB en pastas de almidón de trigo y Stefolani *et al.* (2013) llegaron a conclusiones semejantes para quinoa y kañiwa. Estas afirmaciones se extienden también a otros almidones con altos contenidos de amilosa, donde esta característica genera un retardo en el hinchamiento con incremento de la temperatura de disociación de las zonas cristalinas (Debet & Gidley, 2006). A pesar de esto, los resultados de los autores mencionados, no necesariamente se pueden extrapolar a las harinas, pues es evidente que la presencia de otros constituyentes, capaces de fijar agua e interactuar con el almidón afectan las propiedades de *pasting*. Así, por ejemplo, en pastas de harina de trigo, existe una correlación negativa débil entre el total de amilosa y el PV y BD y no significativa con los demás parámetros. Esto sugiere que las proteínas, lípidos y los polisacáridos no amiláceos hacen importantes contribuciones a la viscosidad de las pastas de harina de trigo (Blazek & Copeland, 2008). No sólo es la cantidad total de lípidos presentes en la harina que determina parte de las propiedades de *pasting*, sino que importa también la ubicación de estos y la proporción en que se encuentran, ya sea libres o formando complejos con la amilosa, dado que presentan efectos diferenciales sobre la absorción de agua de los gránulos. Así, por ejemplo, Zhou *et al.* (2003) informaron que la remoción de los lípidos libres en harina de arroz no afectó sustancialmente las propiedades de *pasting*, sin embargo, la separación de los lípidos acomplejados con la amilosa sí lo tuvo. Por otra parte, diferencias en la actividad amilásica pueden influir en las características de las curvas de *pasting* (Ruales & Nair, 1994).

Las temperaturas de *pasting* variaron entre 70,65°C a 89,25°C para HC y de 69,33°C a 88,35°C para las HCD (Tabla 6.14). Datos publicados por Wu *et al.* (2014), informaron temperaturas de *pasting* de harinas integrales de quinoa de 93°C, en 11 variedades de quinoa, a pesar de haber hallado entre ellas diferencias notables en los parámetros arrojados mediante RVA. Sin embargo, los valores de PV informados por ese autor son similares a los aquí expuestos para las HC. El equipo de RVA falló a la hora de establecer las temperaturas de *pasting* de las harinas precocidas. El aspecto de estas curvas muestra un incremento regular de la viscosidad, sin un punto de inflexión claro. Esto se explicaría si tenemos en cuenta que el almidón de las HP ha perdido ya su estructura granular (Figura 5.16.B).

Los bajos valores de BD obtenidos para estas harinas, en comparación a la harina de cebada y arroz (Tabla 6.14), indican que podrían ser apropiadas para elaboración de alimentos, donde se requiere alta temperatura y agitación mecánica como los productos de panadería, embutidos cárnicos, salsas y/o aderezos, gelatinas sintéticas, salchichas y embutidos cocidos.

6.4.4.8. Propiedades de hidratación: poder de hinchamiento (PH), porcentaje de solubilidad (%S) e índice de absorción de agua (IAA).

Almidón de quinoa, fécula de mandioca, almidón de maíz y harina de arroz.

En la Tabla 6.15 se presentan los resultados obtenidos para IAA, PH y %S de los almidones. No se pudieron realizar las determinaciones en fécula de mandioca, por la formación de un gel liviano que impidió la separación del sobrenadante durante la centrifugación.

Tabla 6.15. Propiedades de hidratación (IAA, PH y % S) del almidón de quinoa (AQ), fécula de maíz (FMZ) y harina de arroz (HAZ).

Propiedades de hidratación	AQ			FMZ			HAZ		
	Temperatura °C								
	55	75	95	55	75	95	55	75	95
IAA	4,5 a	8,5 b	10,4 c	1,8 a	2,3 b	13,1 c	8,2 a	8,1 a	11,0 b
PH	4,1 a	8,8 a	10,9 b	2,4 a	1,8 b	14,1 c	8,3 a	8,4 a	11,5 b
%S	3,3 a	3,7 b	4,5 c	0,4 a	0,4 a	7,5 b	3,0 a	3,1 a	4,5 b

Letras iguales en una misma muestra y para cada indicador (IAA, PH y % S), indica que las medias no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) a las temperaturas analizadas (Ver Anexo, Tabla 6.15).

En general, los parámetros analizados se incrementaron con la temperatura, no obstante, su influencia está también supeditada a la naturaleza del almidón. En quinoa se observó un aumento gradual y significativo de los tres parámetros evaluados. Al ascender la temperatura a 95°C, la FMZ mostró un incremento abrupto de los tres parámetros, especialmente notable para %S, mientras que, para HAZ, se constató una meseta en las propiedades de hidratación entre los 55°C y los 75°C, para luego trepar hasta sus máximos, al alcanzarse los 95 °C (Tabla 6.15)

Los resultados del RVA no son comparables con el análisis de las propiedades de hidratación mencionadas en la Tabla 6.15, dado que difieren notablemente en lo que se mide y en cómo se mide. Sin embargo, de la lectura de la Tabla 6.15 resulta evidente que, tanto el IAA como el PH son pre requisitos indispensables para observar una solubilización importante del almidón. Estos resultados sugieren que en AQ y HA y arroz los procesos de imbibición de agua e hinchado del almidón permiten que la liberación de la amilosa comience mucho antes de que sobrevenga la ruptura del gránulo y, muy probablemente, antes incluso de que éste alcance una completa gelificación.

Lindeboo *et al.* (2005) informaron una correlación positiva entre el contenido de amilosa y la solubilidad, pero negativa entre ésta y el PH. La concentración de amilosa en la

HA no parece ser muy diferente a la de la FMZ, sin embargo, su solubilidad a 55 °C y 75 °C es notablemente mayor. Sabaté *et al.* (2011) encontraron que la molécula de amilosa de arroz posee un peso molecular que es la mitad de la del maíz. También su radio de giro es menor, lo cual hace suponer que tiene más facilidades para difundir dentro del gránulo ya embebido e hinchado por el agua. En un estudio de HPLC-SEC, Syahariza *et al.* (2013) encontraron una distribución bimodal para el tamaño molecular de la amilosa de arroz, con una cadena mayor, de unos 1000 fragmentos de glucosa y otra menor, con alrededor de 300 unidades de ese monómero. Watanabe *et al.* (2007) estudiaron cinco variedades de quinoa y encontraron que sus amilosas poseían entre 800 y 1000 fragmentos de glucosa en promedio. El fragmento menor encontrado en amilosa de arroz permite explicar mejor la alta solubilidad de este almidón a temperaturas más bajas. No se tienen mayores datos sobre la quinoa, que nos permita saber si la bimodalidad observada en arroz también se da aquí, pero su tamaño, comparable al de amilosa de arroz, posiblemente brinde una explicación que justifique la importante solubilidad en agua, que el AQ presenta.

Harinas Cruda y Precocidas

Se encontraron diferencias significativas en el IAA y el PH entre los tratamientos (HC vs. HP) y las temperaturas de ensayo (Tabla 6.16). Las HC presentaron los valores más bajos de estos indicadores y en cuanto a la temperatura, no se encontraron diferencias significativas entre 75°C y 95°C, pero sí entre estas y los 55°C. Los valores más altos de IAA y PH se dieron a las mayores temperaturas. El pico de gelatinización de los gránulos de AQ ocurre entre los 54,5° C a 69,3° C (Abugoch James, 2009); a temperaturas mayores y ya producidas las modificaciones intrínsecas, no existirían cambios en las propiedades de hidratación. Como consecuencia del calentamiento, las moléculas de almidón vibran vigorosamente, rompiéndose los enlaces intermoleculares, y separándose fragmentos de la cadena de almidón, facilitando la formación de uniones puente hidrógeno con el agua. Estos enlaces son también responsables de la AA y de la gelatinización del almidón (Fennema, 1993).

Si bien en las HP la ausencia de gránulos de almidón intactos, limitó la AA y el subsecuente hinchamiento granular, fenómenos necesarios para el desarrollo del PV, al estar parcialmente degradadas tienen una mayor disponibilidad de fracciones de tamaño variable y grupos funcionales capaces de adsorber agua e “hincharse” en las condiciones ensayadas. Lai (2001) encontró una tendencia similar en harina de arroz pregelatinizada. A diferencia del IAA y PH, no se encontraron diferencias significativas en el %S de las HC y HP. Estos hallazgos son opuestos a los publicados por Ruales & Nair (1994), quienes reportaron un mayor contenido de materia soluble en agua en las muestras cocidas, debido

al proceso de cocción. Aparentemente, las condiciones de tiempo y temperatura a las que fueron sometidas las semillas no fueron tales de modo que permitieran escapar fragmentos de amilosa de pequeña longitud. Es importante mencionar que este índice cuantifica además de fragmentos de almidón todas aquellas moléculas y elementos capaces de solubilizarse en las condiciones ensayadas diferentes de los componentes del almidón, tales como azúcares, péptidos, minerales, etc. Por lo tanto, las diferencias no indican exclusivamente diferencias en la degradación del polímero. Incluso, el hecho de que se produzcan pérdidas de componentes nutricionales durante la cocción de las semillas de las cuales se obtiene la HP, puede reducir la concentración de componentes que participan en la cuantificación del %S y de esta forma queda encubierta la participación de los fragmentos de almidón liberados durante la cocción.

Tabla 6.16. Propiedades de hidratación (IAA, PH, ISA) de las harinas de quinoa.

	Temperatura (°C)					
	55		75		95	
	HC	HP	HC	HP	HC	HP
IAA	4,61± 1,13a ^a	6,33±0,41b ^a	6,14±0,49a ^b	7,02±0,32b ^b	5,75±1,16a ^b	7,22± 0,36b ^b
PH	4,65± 0,81a ^a	7,02±0,40b ^a	6,85±0,58a ^a	7,46±0,21b ^a	6,54±1,17a ^b	7,98± 0,71b ^b
ISA	8,99 ± 1,52a ^a	9,75±1,46a ^a	10,18±1,10a ^b	10,86±2,67a ^a	10,67±1,70a ^b	11,71± 2,52a ^a

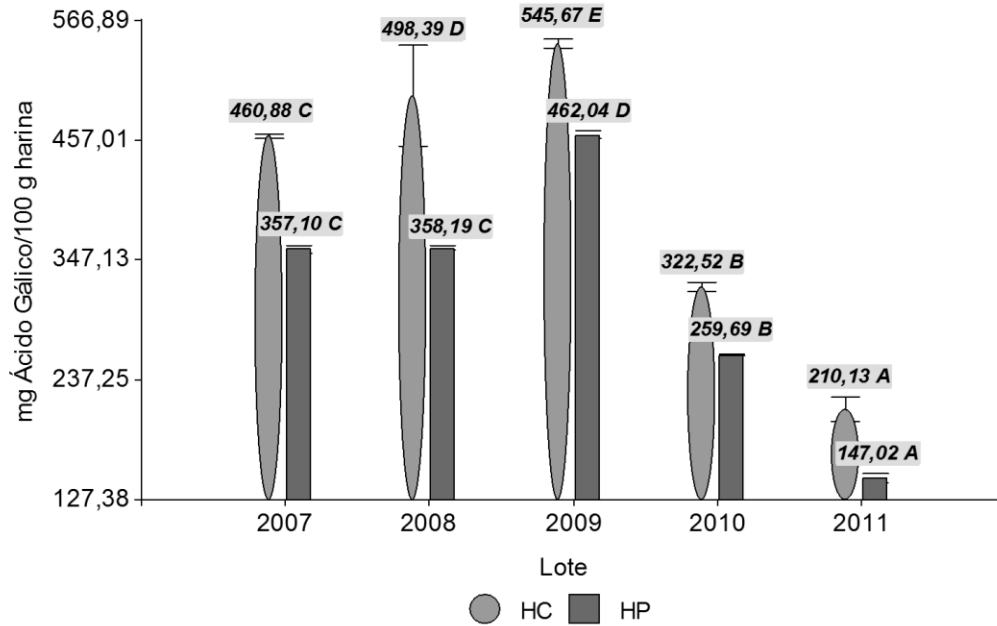
Medias con una letra común en la fila que corresponde a una determinada temperatura e indicador señala que los tratamientos no son significativamente diferentes a esa temperatura ($p > 0,05$). Los superíndices con la misma letra para cada tipo de harina (HC y HP) indican que no hay diferencia significativa para esa harina a las diferentes temperaturas.

Los resultados de IAA, PH e %S coinciden con los de Hevia *et al.* (2001) y González Parada & Perez Sira (2003). Estos últimos autores informaron que el almidón precocido de yuca presentó valores más altos de estos parámetros (IAA, PH e %S) que el almidón nativo y el calentado con microondas y que la pasta de almidón precocido presentó además menor viscosidad.

Las HP serían apropiadas para la elaboración de snacks, bebidas y papillas de alta concentración para lactantes, que requieren de productos de alto grado de cocción y de un mayor IAA. Estas harinas son útiles además, si se quiere preparar papillas instantáneas, sopas o colados, que necesitan de productos de un alto IAA y de un mayor %S (Puga (1991) en Hevia *et al.*, 2001).

6.4.5. Otros componentes de interés nutricional.

6.4.5.1. Contenido de polifenoles totales (PFT) en harinas crudas y precocidas de quinoa.



Letras iguales en los óvalos de un mismo color o en las barras de un mismo color, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Ver Anexo 6, Figura 6.6)

Figura 6.6. Efecto del Lote sobre el contenido de polifenoles totales en harina cruda y precocida de quinoa.

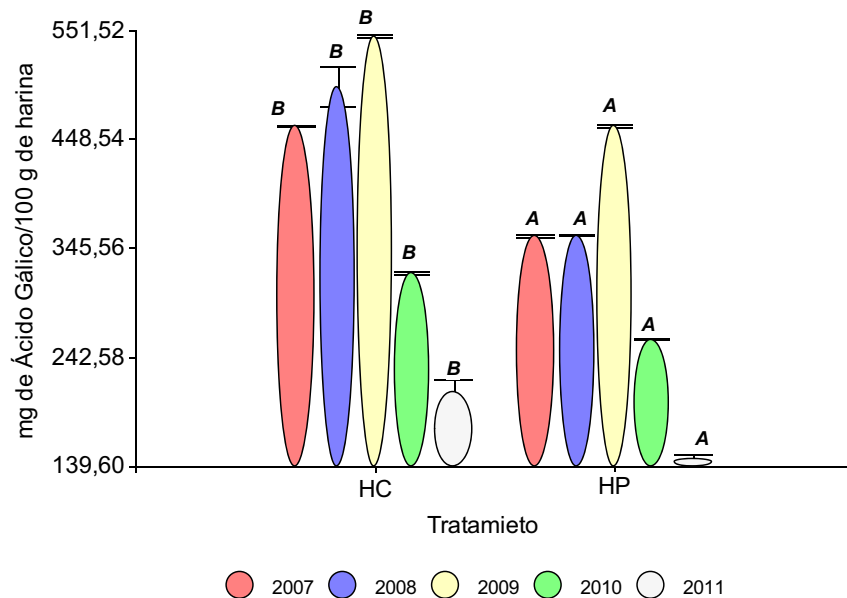


Figura 6.7. Efecto del Tratamiento (HC vs. HP) sobre el contenido de PFT

Harinas Crudas

El contenido de PFT fue variable y significativamente diferente entre HQ provenientes de los distintos lotes ($p < 0,0001$). Así, el lote 2011 presentó la menor concentración de PFT (210 ± 11 mg Ác. Gálico/100 g de harina) y el lote 2009 la mayor (546 ± 4 mg Ác. Gálico/100 g de harina). Entre ambos extremos, se encontraron el lote 2007, 2008 y 2010.

El contenido de PFT de las HQ analizadas superó los resultados publicados por Repo Carrasco & Encina Zelada (2008). Estos autores analizaron entre otras cosas, el contenido de PFT en quince variedades de quinoa de Perú y dentro de ellas la que mayor concentración de polifenoles presentó fue variedad PIQ031046 con 140 mg ácido gálico/100 g.

El contenido de PFT en cereales y pseudocereales varía según los cultivares y las condiciones de crecimiento tales como el pH del suelo. El nivel de precipitaciones y la temperatura tienen un mayor impacto en el contenido total de polifenoles después del genotipo. Además de las condiciones relacionadas al cultivo, en la poscosecha también se producirían variaciones en el contenido de PFT. Así, la temperatura del aire de secado reduce el contenido de PFT y capacidad antioxidante de SQ (Miranda *et al.*, 2010).

Además de los factores mencionados como posibles fuentes de variación entre distintas variedades, existen otras que podrían participar de las diferencias halladas entre lotes de semillas de la misma variedad. Además de la cantidad, podría haber diferencias en el tipo de compuesto fenólico que pueden tener diferente reactividad con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Yu *et al.*, 2002) y diferente solubilidad en el solvente y condiciones de extracción debido a diferencias en la estructura química.

A pesar de que es un método ampliamente utilizado, posee limitaciones. Por otro lado, al tratarse de muestras que difieren en su composición química, también podrían presentar diferencias en el contenido de otros agentes reductores, tales como el ácido L-ascórbico, que pueden también reaccionar con el Folin-Ciocalteu y contribuir a la absorbancia total (Singleton & Rossi (1965) en Yu *et al.*, 2002).

Harinas Precocidas

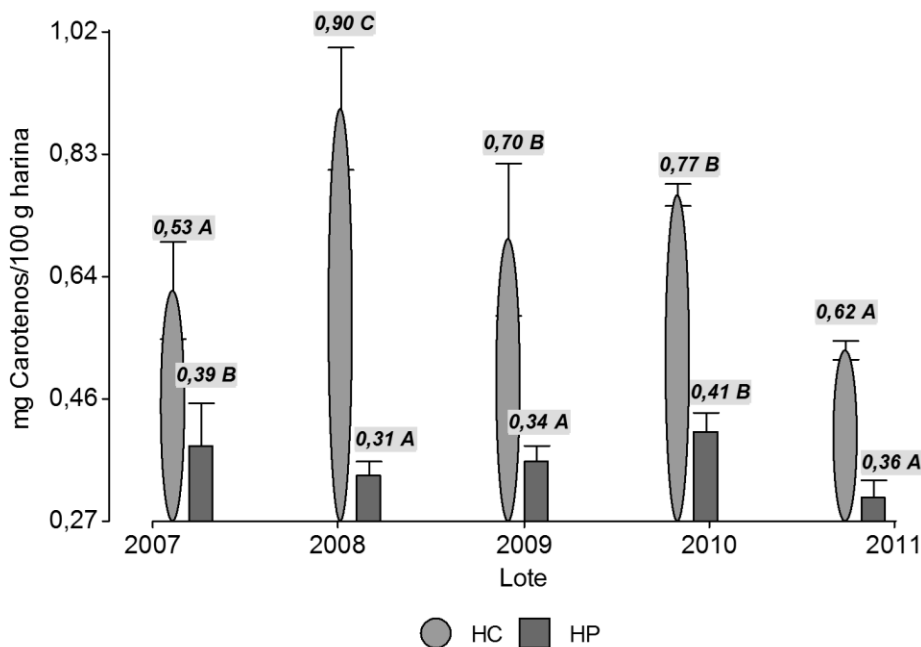
En las HP, al igual que en las HC lotes 2011 y 2009 tuvieron las concentraciones más bajas y más altas respectivamente (147 ± 4 y 462 ± 3 mg Ác. Gálico/100 g de harina). A diferencia de las HC, en las HP, las concentraciones de PFT no fueron significativamente diferentes entre los lotes 2007 y 2008.

Por otro lado, en la Figura 6.6 se observó una tendencia decreciente en el contenido de PFT entre las HC y las HP. Esta tendencia fue reforzada con el ANAVA y test de comparaciones múltiples realizado para evaluar el efecto del Tratamiento (HC vs. HP) sobre el contenido de los polifenoles (Figura 6.7).

Hubo un efecto significativo del MC (VP: 10-11 min) (HC vs. HP) ($p < 0,0001$) sobre el contenido de PFT de las HQ provenientes de los lotes 2007 a 2011. Las pérdidas oscilaron entre 15 y 30%. Estas pérdidas podrían producirse por efecto de arrastre ejercido por el vapor de agua durante la aplicación del MC. Según Bravo *et al.* (1994) y Saura Calixto *et al.* (1991) en Arranz Martínez (2010) independientemente del solvente empleado, la extracción es incompleta, clasificándose en: polifenoles extraíbles (PE) y no extraíbles (PNE), los primeros poseen pesos moleculares bajos o medios (de monómeros a decámeros) mientras que los otros son compuestos con un peso molecular elevado (5000 unidades). Serían pues los PE de bajo peso molecular los que se perderían durante la precocción de las semillas.

Resultados similares se informaron para almendras, donde se observó que el contenido de PFT se redujo después de someter las almendras al proceso de blanqueado (93°C-3 min) en mayor medida que las pérdidas generadas por el tostado, posiblemente debido a la solubilización de parte de los mismos durante el tratamiento (Garrido *et al.*, 2008).

6.4.5.2. Pigmentos carotenoides en harinas crudas y precocidas de quinoa.



Letras iguales en los óvalos de un mismo color, indica que las medias no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Ver Anexo 6, Figura 6.9).

Figura 6.8. Efecto del lote sobre el contenido de PC en harinas crudas y precocidas de quinoa.

Hubo un efecto significativo del lote tanto en las HC como en las HP sobre el contenido de PC (p -valor=0,0001 y 0,0116, respectivamente).

Al igual que los PFT, el principal factor que influye en su concentración es el genotipo, sin embargo, el tipo de suelo, riego y fertilización no afectan significativamente el contenido de carotenoides (Rodríguez Amaya (1999), Gill *et al.* (2007) y Zamora (2007) en Carranco Jáuregui *et al.*, 2011). Seguido del genotipo, como variables que afectan la concentración se encuentran el manejo precosecha, estado de madurez, así como las operaciones de procesado y conservación. Entre estos la temperatura, la presencia de oxígeno e intensidad de la luz (Gill *et al.* (2007) y Kläui, *et al.* (1981) en Carranco Jáuregui *et al.*, 2011).

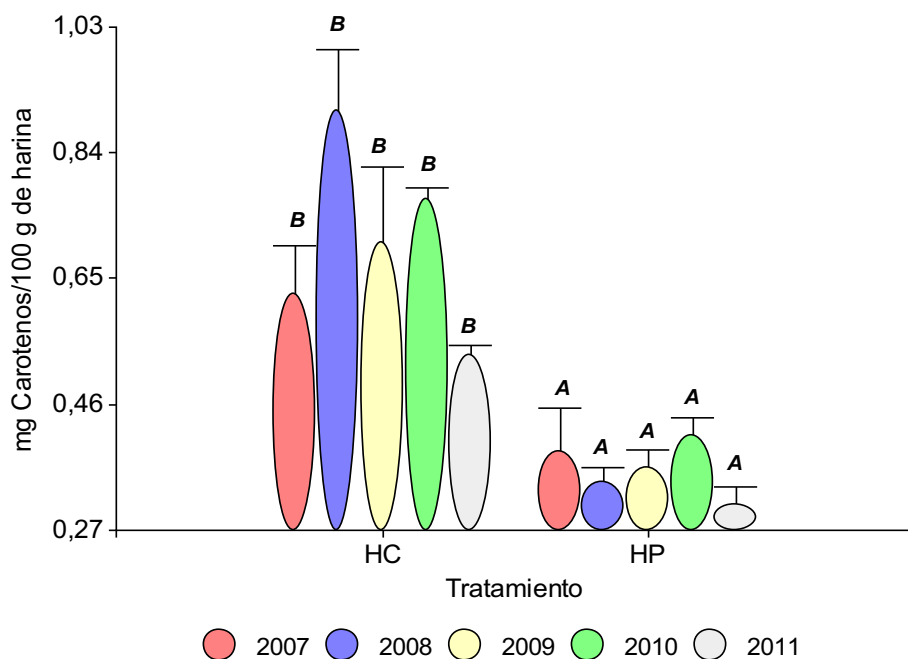


Figura 6.9. Efecto del tratamiento (HC vs. HP) sobre el contenido de pigmentos carotenoides.

Se observó un efecto significativo del tratamiento de precocción ($p < 0,0001$) sobre el contenido de PC. Por el alto grado de instauración de las moléculas son sensibles a la temperatura, metales, ácidos, peróxidos, calor, luz y a la acción de lipoxigenasas, degradándose fundamentalmente debido a procesos oxidativos (Badui *et al.* (1997) y Rodríguez Amaya (1989) en Carranco Jáuregui *et al.*, 2011; Meléndez Martínez *et al.*, 2004).

A pesar de la menor concentración de PC, el análisis del color de las HP mostró mayores valores para los parámetros a^* y b^* , por lo que la intensidad de los colores rojos o amarillos estaría más relacionada, como se mencionó anteriormente, con reacciones de Maillard durante la precocción de los granos.

6.5. Conclusiones parciales.

Las harinas obtenidas, como se mencionó en la introducción del Capítulo, corresponden a la clasificación de harina integral de quinoa y no están contempladas por el Código Alimentario Argentino, sin embargo, en Instituto Boliviano de Normalización y Calidad las incluye, aunque con un tamaño de partículas entre 200 y 700 μm . Por lo tanto, las harinas integrales de quinoa obtenidas empleando la malla de 0,25 mm entrarían dentro de la clasificación del mencionado instituto, pero las otras no. Este aspecto debe ser considerado a la hora de proponer la inclusión de esta harina a la legislación alimentaria nacional.

Las harinas crudas y precocidas de quinoa presentaron algunas diferencias. Del análisis de la composición química proximal, sólo las cenizas se redujeron al precocer las semillas de quinoa y si bien son indicadores del contenido mineral total, no son el indicador más valioso desde el punto de vista nutricional. A pesar de esto, los resultados de la composición proximal, aminoacídica y de ácidos grasos se encontraron dentro de valores esperables para harina de quinoa.

La composición química de la harina de quinoa, así como de otros materiales biológicos es variable, incluso entre lotes de la misma zona geográfica de producción.

El análisis de aa puso de manifiesto, que los lotes de quinoa estudiados presentaron proteínas biológicamente incompletas. A pesar de las deficiencias aminoacídicas detectadas, es necesario destacar que la calidad de una proteína no puede ser juzgada únicamente en relación al patrón de referencia, ya que cuando es comparada con los patrones de requerimientos de aminoácidos esenciales para cada edad, puede resultar inadecuada para el niño y ser adecuada para el adulto. Así, tres de los cinco lotes estudiados, no alcanzaron a cubrir los requerimientos nutricionales del grupo de adultos, pero dos de ellos sí.

Por otro lado, y retomando las Conclusiones parciales del Capítulo 4, el método de cocción seleccionado produce escasas pérdidas proteicas, por lo que es de esperar que las concentraciones de aminoácidos se mantengan relativamente constantes en las harinas precocidas.

En cuanto al aceite de quinoa, la composición de estos se asemeja como se mencionó al aceite de maíz y soja, con alta prevalencia de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácido linoleico. A pesar de esto, las harinas crudas y precocidas empleadas en el ensayo de estabilidad, mostraron bajos valores de ácidos grasos libres y dienos conjugados durante los 4 meses y medio de ensayo, almacenadas a temperatura ambiente en bolsas de papel de aluminio. La presencia de relativamente altas cantidades de tocoferoles, podría haber jugado un rol protector durante el período de ensayo. No se hizo

evidente el efecto del tratamiento de precocción sobre el perfil de los AG del aceite de quinoa.

El almidón de quinoa mostró bajo valor *breakdown*, lo que le confiere buena estabilidad durante la cocción y posee buena resistencia a la retrogradación.

Los resultados abordados a partir del análisis mixográfico de las harinas permiten concluir que la aplicación de tratamientos y tecnologías sencillas a los granos o harina de quinoa permiten obtener grandes diferencias en las propiedades de *pasting* e hidratación de las harinas, permitiendo ampliar la posibilidad de aplicaciones de este subproducto y estimular la industrialización de estos granos, sobre todo en zonas productoras de escasos recursos.

La presencia de contenidos de fibra “soluble” e “insoluble” en cantidades relativamente equivalentes (fibra soluble= fibra dietética total - fibra detergente ácida) hacen que los beneficios fisiológicos atribuidos a la fibra dietética se encuentren distribuidos entre los metabólicos y mecánicos.

La marcada reducción de azúcares reductores libres y dentro de estos de la glucosa, en las harinas precocidas y la mayor proporción de fibra dietética total en relación a la harina cruda, por la posible formación de almidón resistente tipo 3, dan a la harina de quinoa precocida características más apropiadas para la elaboración de alimentos con menor carga glucémica, en relación a la versión sin cocción. A menos que el alimento sea formulado teniendo como único objetivo tener una carga glucémica reducida, debería estudiarse cuánta es la lisina comprometida en la reacción de Maillard, ya que, si se reduce mucho, se pierde el aporte nutricional de este aminoácido esencial.

Capítulo 7

7.1. Conclusiones Generales.

Los frutos de quinoa provenientes de la provincia de Salta, Argentina, cosechas 2007 y 2008 del Departamento Molinos y cosechas 2009, 2010 y 2011 del Departamento La Poma, a pesar de tratarse de la misma variedad, mostraron diferencias en las propiedades físicas y composición química, aunque los valores se encontraron dentro de lo esperable.

Los resultados obtenidos serían útiles como información básica al área ingeniería, puede contribuir con el diseño y optimización de maquinaria o procesos, de modo que nuestro país pueda responder al menos parcialmente a la demanda mundial de quinoa con mayores y mejores niveles de producción.

Los frutos de quinoa empleados tuvieron contenidos de saponinas que permiten clasificarla como “quinoa amarga”. Este parámetro es uno de los principales limitantes en la expansión de su consumo, por lo tanto, la etapa de desamargado constituye una etapa clave en la cadena productiva de quinoa y sus derivados, sin olvidar la importancia de preservar la calidad nutritiva de la materia prima sin generar excesivos costos de operación. Si bien durante la etapa de clasificación y limpieza podrían haberse producido reducciones en el contenido de proteínas por daño mecánico del germen al incrementarse el tiempo de tamizado, este no experimentó variaciones. La operación de acondicionamiento mencionada es eficiente para la clasificación por tamaño, no así como medio para separar a los frutos de quinoa de sus impurezas. A pesar de ello, esta limitación podría ser fácilmente superada acoplando un proceso posterior que no implique grandes inversiones de capital, como la separación de impurezas por venteo, empleando la diferencia de densidad de las partículas como fundamento de la operación.

El desamargado de los frutos de quinoa por los tres métodos ensayados produjo reducciones en el contenido de cenizas de las semillas, aunque en diferentes proporciones, sin embargo, el contenido de proteínas permaneció invariable. Además, el lavado por “flujo continuo de agua” reveló que tampoco se producen modificaciones en el contenido de lípidos. A pesar de las diferencias encontradas en el contenido de algunos minerales entre las semillas de quinoa y cereales de consumo habitual, como el trigo o el arroz, a favor de estos últimos, es importante resaltar que a la hora de comparar alimentos, para estimar el aporte nutricional, es importante tener en cuenta la forma en que habitualmente son consumidos. En este sentido, en Argentina no es frecuente el consumo de granos enteros de cereales como trigo, avena, cebada o centeno, sino más bien de sus harinas y derivados, y si bien el consumo per cápita de granos de quinoa es bajo (66 g/año) las principales formas de consumo la incluyen entera, en barras de cereales, sopas, ensaladas y otro tipo

de comidas elaboradas (Pro Ecuador, 2015). Por lo tanto, sería correcto realizar la comparación con las harinas de cereales, que en caso de ser refinadas, se conoce que reducen severamente su valor nutritivo, por remoción de partes anatómicas ricas en nutrientes.

El lavado de los frutos de quinoa hasta alcanzar el punto final, determinado cualitativamente redujo eficientemente el contenido de saponinas, aunque no fue suficiente para posicionarla como “quinoa dulce”, con un contenido de saponinas < al 0,11%. A pesar de esto, la cantidad residual de saponinas no constituyen en si un riesgo para la salud de los consumidores, tanto es así, que, a nivel nacional, el Código Alimentario Argentino menciona, entre otras cosas, que las semillas deben ser lavadas previo a su consumo, hasta eliminación de espuma. Sin embargo, no se establece bajo qué condiciones de tiempo, temperatura, solvente, etc.

Aunque es un método útil y eficiente a nivel doméstico para acondicionar las semillas, previo al consumo familiar, el lavado a nivel de producción industrial, no sola consumirá bastante agua, sino también producirá su contaminación con las saponinas residuales. Además, se hace imprescindible secar los granos, que durante el proceso absorben alrededor de un 40% de su peso en agua, por lo que el costo de secado podría ser notablemente más alto que en otros procesos de desamargado, como el mixto o combinado.

La precocción de las semillas de quinoa para obtener harinas de reconstitución instantánea se pudo realizar correctamente empleando un método económico y sencillo como fue el método de cocción con vapor-presión durante 10-11 min, presentando además bajas pérdidas de sólidos totales, proteínas, azúcares reductores libres y glucosa en comparación con aquellos en donde las semillas son sumergidas en el medio de cocción (hervido y hervido a presión). Si bien no fue el método que más conservó los tocoferoles, se encontró entre los dos mejores (hervido: 10 min por un lado y hervido a presión y vapor-presión:10 min por otro). Las cenizas, al igual que lo ocurrido en el desamargado, fueron los componentes afectados por la precocción, manteniéndose constante el contenido proteico y de grasas entre semillas lavadas y semillas lavadas y cocinadas. De los aspectos nutricionales analizados hasta la etapa de precocción inclusive, sólo los minerales fueron afectados, aspecto que fácilmente puede ser subsanado mejorando la retención durante el desamargado, añadiendo los sólidos obtenidos a partir de la liofilización de las aguas de cocción o bien adicionando a las harinas aditivos permitidos por el Código Alimentario Argentino que sean de elevada biodisponibilidad. Además, el proceso de precocción incrementaría el contenido de fibra dietética total por la posible formación de almidón resistente tipo 3. Por lo tanto, las harinas precocidas producirían una menor respuesta glucémica tras su ingestión que las versiones sin cocción. Sumado a esto, el proceso de precocción redujo parte de los azúcares reductores libres y la glucosa por lo que las harinas

precocidas serían útiles para la elaboración de alimentos en los que se pretenda obtener una carga glucémica reducida. Si bien esta es sólo una mirada parcial e incompleta del posible efecto de estas harinas sobre el índice glucémico, podría ser el puntapié inicial de futuras investigaciones con quinoa.

Si bien el valor nutricional general de las semillas se mantuvo hasta luego de la precocción (excepto el valor mineral), incluso el contenido de proteínas no pareció modificarse luego del secado, la molienda mostró ser una etapa crítica del proceso en cuanto al efecto sobre la composición proximal de las harinas y su rendimiento. Sin embargo, más allá de la mayor o menor concentración de proteínas, grasas o cenizas entre las harinas obtenidas aplicando diferentes condiciones de molienda y con diferentes rendimientos, serán aquellas obtenidas con mayores rindes las que se adecuen a los requerimientos de la industria. En las harinas crudas, los rendimientos más altos fueron de alrededor del 75% y se obtuvieron con la malla de 0,25 mm y una humedad del 12%, donde la velocidad de dosificación no mostró un efecto significativo. En las semillas precocidas, el rendimiento fue menor, alrededor de un 50% y se obtuvo, al igual que las semillas crudas con la malla de mayor apertura y donde la velocidad de dosificación no mostró un efecto notable, pero sí la humedad, siendo el 7% el valor con el que se obtuvieron mejores resultados. Otro aspecto a considerar, no de menor relevancia es el tamaño de partícula de las harinas obtenidas, pues como se evidenció en las pruebas sensoriales, las harinas obtenidas con la malla de 0,25 mm no presentaron adecuados atributos sensoriales. Por lo tanto, es conveniente tener definida con anticipación el tipo de producto a elaborar con esas harinas. Si el objetivo es obtener una harina para ser reconstituída en agua de manera instantánea o para elaborar productos tipo sopas crema o salsas, es necesario considerar que la harina obtenida con mayor rendimiento de molienda deberá ser necesariamente tamizada con la consecuente pérdida de material en el proceso. En estos casos habría que analizar bajo qué condiciones es conveniente moler las semillas para obtener un mejor rendimiento total, que incluya las pérdidas en la molienda y en el tamizado. Ahora bien, si el objetivo es elaborar otro tipo de alimentos, en donde el tamaño de la partícula deja de ser un aspecto sensorial relevante, las condiciones de molienda serán aquellas que dieron los rendimientos altos.

Dada la composición aminoacídica de las harinas de quinoa, éstas podrían ser empleadas como reforzadores de la calidad nutricional de harinas de cereales empleadas en la elaboración de pan, pastas, cereales para el desayuno, etc. Complementando de esta manera, el valor nutricional de alimentos de consumo masivo en nuestro país.

Al tratarse de harina integral, el contenido de fibra dietética fue notable. Se sabe de los beneficios asociados al consumo de fibra dietética en la población en general, aunque aquí es importante resaltar la utilidad de estas harinas en la formulación de alimentos libres de

gluten, destinados a la población celíaca, ya que en general los alimentos destinados a este grupo tienen bajos contenidos de fibras y vitaminas, dado que se elaboran principalmente con féculas, almidones y harinas refinadas.

Por otro lado, el aceite de quinoa tiene un perfil de ácidos grasos similar al de otros aceites vegetales, con prevalencia de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácido linoleico. A pesar de esto, las harinas crudas y precocidas mostraron buena estabilidad durante el período que duró el ensayo y en las condiciones que fue realizado. La presencia de relativamente altas cantidades de tocoferoles en el aceite, podrían haber jugado un rol protector.

El almidón de quinoa mostró buenas condiciones para su utilización en la industria alimentaria, y podría ser extraído de aquellas semillas que por sus características (tamaño, color, forma, etc.), no cumplen con las normas exigidas para su comercialización directa y que, por consiguiente, poseen un valor económico significativamente menor.

La aplicación de un tratamiento sencillo a las semillas de quinoa, como fue la precocción o el desengrasado de las harinas, permitió obtener productos que presentaron notables diferencias en las propiedades de *pasting* e hidratación. Así, las harinas precocidas y precocidas desengrasadas serían indicadas para alimentos que no requieran mayores viscosidades en sus preparaciones, como las bebidas instantáneas a base de cacao, postres y sopas instantáneas que se sirven inmediatamente después de agitarlos, ya sea con leche o agua fría o tibia.

Las ventajas mencionadas de las harinas precocidas en cuanto mayor contenido de fibra y menor de azúcares reductores sobre el posible índice glucémico, se ven apoyadas, además, por tratarse de una harina integral, donde la presencia de otros componentes diferentes de los carbohidratos, como las proteínas y las grasas, ejercen también influencia en este parámetro, retrasando la tasa de digestión y absorción de los carbohidratos y afectando como consecuencia el índice glucémico de la preparación.

Las diferencias encontradas entre los frutos y en las semillas, en cuanto a la composición ponen de manifiesto la necesidad de contar con más datos sobre la composición química proximal, aminoacídica, de ácidos grasos, etc, relativo a cultivos nacionales y a la variedad analizada. Esto permitiría establecer valores promedios representativos que permitan hacer estimaciones sobre la calidad de la proteína o perfil de ácidos grasos de variedades regionales y así realizar recomendaciones dietético-nutricionales que combinen adecuadamente, mejorando la calidad nutricia de las preparaciones, y ajustándolas a la realidad nacional, en cuanto a posibilidades de complementaciones proteicas con alimentos que formen parte de los hábitos alimentarios y

que se encuentren disponibles en diferentes regiones del país, además de idear platos que respeten a su vez los gustos y costumbres nacionales.

Con los resultados y experiencia obtenidos, es interesante resaltar dos ideas principales. Una de ellas relativa al momento del diseño del alimento, donde es imprescindible definir con claridad cuál o cuáles nutrientes interesa/n conservar en mayor proporción, en función de las necesidades nutricionales del grupo al que va dirigido o bien contemplando una deficiencia nutricional prevaeciente en la población general, y a partir de allí, considerar alternativas tecnológicas y culinarias apropiadas. La otra idea está relacionada a la importancia de establecer rangos o intervalos que incluyan las probables pérdidas que se pueden producir como consecuencia de un proceso u operación y de esta forma sean contempladas desde el momento del diseño.

7.2. Bibliografía

- Código Alimentario Argentino. (s.f.). *Información Legislativa. Ministerio de economía y Finanzas Públicas*. Recuperado el 11 de Mayo de 2015, de <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/230000-234999/232888/norma.htm>.
- Abalone, R., Cassinera, A., Gastón, A., & Lara, M. (2004). Some Physical Properties of Amaranth Seeds. *Biosystems Engineering*, 89(1), 109-117.
- Abugoch James, L. (2009). Quinoa (Chenopodium quinoa Willd): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1-31.
- Agama Acevedo, E., Ottenhof, M., Farhat, I., Paredes López, O., Ortíz Caceres, J., & Bello Pérez, L. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 39(4), 419-429.
- Agenfood. (s.f.). *Tablas Argentinas de Composición química de alimentos*. Extraído de <http://www.argenfoods.unlu.edu.ar/Tablas/Tabla.htm> el 09 de Junio de 2015.
- Ahamed, N., Singhal, R., Kulkarni, P., & Pal, M. (1996). Physicochemical and functional properties of Chenopodium quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, 31, 99-103.
- Ahamed, N., Singhal, R., Kulkarni, P., & Pal, M. (1998). A lesser-known grain, Chenopodium quinoa: Review of the chemical composition of its edible parts. *Food and Nutrition*, 19(1), 61-70.
- Akoh, C., & Min, D. (Edits.). (2002). *Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology* (Segunda ed.). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Alandia Borda, S., Cardozo Gonzáles, A., Gandarillas Santa Cruz, H., Mujica Sanchez, Á., Ortiz Romero, R., Otazu Monzón, V., y otros. (1979). *Quinoa y Kañiva. Cultivos Andinos*. Bogotá, Colombia: Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo (CUD) e Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).
- Álvarez Jubete, L., Arendt, E., & Gallagher, E. (2009). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(4), 240-257.
- AOAC. (1999). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemist* (Décimosexta ed.). Gaithersburg, USA.
- Apata, D., & Ologhobo, A. (1994). Biochemical evaluation of some Nigerian legume seeds. *Food Chemistry*, 49, 333-338.
- Arapa, C., & Padrón, P. (2015). Determinación de características físicas en semillas de quinua (Chenopodium quinoa Willd) mediante procesamiento digital de imágenes. *revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 148-165.
- Araujo Farro, P., Amaral Sobral, J., & Menegalli, F. (2005). Comparison of starch pasting and retrogradation properties of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd), rice, potato, cassava, wheat and corn starches. Rio de Janeiro, Brasil.
- Arcila, N., & Mendoza, Y. (2006). Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (Amaranthus cruentus) y su uso potencial en la alimentación humana. 23(1), Revista de la Facultad de Agronomía.
- Arranz Martínez, S. (2010). *Compuestos Polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia.
- Astiasarán, I., & Martínez, J. (2000). *Alimentos. COMposición y propiedades* (Segunda ed.). Madrid, España: Mc Graw Hill.
- Atwell, W., Hood, L., Lineback, D., Varriano-Martson, E., & Zobel, H. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *cereal Foods Works*, 33, 306-311.
- Avila Nuñez, R., Rivas Pérez, B., Hernández Motzezak, R., & Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. *Multiciencias*, 12(2), 129-135.

- Ayala, G. (2004). Aspectos generales y recursos genéticos de las raíces Andinas. En J. Seminario (Ed.), *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y la capacitación: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* (Vol. 6, pág. 376). Lima, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa (CIP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Ayorinde, F., Ologundeb, M., Nanaa, E., Bernarda, B., Afolabib, O., Okeb, O., y otros. (1989). Determination of fatty Acid Composition of Amaranthus Species. *JAOCs*, 66(12), 1812-1814.
- Bacigalupo, A., & Tapia, M. (1990). Potencial Agroindustrial de los Cultivos Andinos Subexplotados. En M. Tapia (Ed.), *Cultivos Andinos Subexplotados y su aporte a la alimentación* (págs. 136-163). Santiago, Chile: Ediciones grega S.A.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos* (Cuarta ed.). México: Pearson Wesley.
- Barboza, C., Bertoni, V., & A.L, M. (2010). *Harina integral de quinoa*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Córdoba, Escuela de Nutrición. Facultad de Ciencias Médicas, Córdoba.
- Batey, I. (2009). Interpretation of RVA curves. En G. Crosbie, & A. Ross (Edits.), *The RVA Handbook* (pág. 19). AACC.
- Bazile, D. e. (Ed.). (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).
- Bergesse, A., & Calandri, E. (2013). Antecedentes y Estadísticas de producción y consumo regional e internacional de la quinoa. En A. Bergesse, P. Boiocchi, E. Calandri, N. Cervilla, V. Gianna, C. Guzmán, y otros, & F. Grasso (Ed.), *Aprovechamiento integral del grano de quinoa. Aspectos Tecnológicos, Físicoquímicos, Nutricionales y Sensoriales* (Primera ed., págs. 3-10).
- Bergesse, A., Cervilla, N., & Calandri, E. (2015). *Harina Integral de quinoa. estudios relacionados con su sabor característico*. V Congreso Mundial de Quinoa. 17, 28 y 29 de Mayo, Jujuy, Argentina.
- Berk, Z. (2009). *Food Process Engineering and Technology* (Primera ed.). Elsevier.
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2003). Genetic variability and heritability of selected traits during different cuttings of vegetable Chenopodium. *Ind. J. Genet. Pl. Breed*, 63, 359-360.
- Blazek, J., & Copeland, L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*(71), 380-387.
- Bonamino, M., Carreño, V., & Cervilla, N. (2009). Elaboración de sopas a partir de la molienda de semillas de quinoa. *Invenio*, 12(23), 119-129.
- Bradford, M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the principle of Protein-Dye binding. *Analytical Biochemistry*, 76, 248-254.
- Brennan, J., Butters, J., Cowell, N., & Lilley, A. (1998). *Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos* (Tercera ed.). Zaragoza, España: Acribia.
- Brinegar, C., Sine, B., & Nwokocha, L. (1996). High-Cysteine 2S Seed Storage Proteins from Quinoa (Chenopodium quinoa). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44(7), 1621-1623.
- Bruno, J. (2014). *Determinación de las condiciones de extracción por vía húmeda para la eliminación de saponinas de quinua. Diseño de un secador adecuado para la operación posterior*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exáctas Físicas y Naturales, Córdoba.
- Caracuel García, A. (2008). Técnicas de cocción saludables aplicables a la alimentación mediterránea. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*, 21(1), 171-180.
- Carranco Jáuregui, M., Calvo Carrillo, M., & Pérez gil Romo, F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN*, 61(3), 233-241.
- Chaparro, D., Pismag, R., & Elizalde, A. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua guandul y soja. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 51-59.
- Chauhan, G., Eskin, N., & Mills, P. (1999). Effect of saponin extraction on the nutritional quality of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) proteins. *Journal Food Science Technology*, 2, 123-126.

- Chauhan, G., Eskin, N., & Tkachuk, R. (1992). Nutrients and Antinutrients in Quinoa Seed. *Cereal Chemistry*, 69(1), 85-88.
- Colina, J., & Guerra, M. (2009). Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. *Interciencia*, 34(10), 736-741.
- Control Unión Perú. (s.f.). Especificaciones Técnicas Harina de Quinoa. (O. certificador, Ed.) Obtenido de www.agroforu
- Corzo Barragán, D. (2009). Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en ds variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. *Jardín Botánico de Bogotá*(19), 153-162.
- Crosbie Graham B. & Ross Andrew S. (2009). The RVA handbook. AACCI International, Snd Ed. pag. 24
- De Bruin, A. (1964). Investigation of the food value of quinoa and canihua seed. *Journal Food Sciences*, 29, 872-876.
- De la Cruz Quispe, W. (2009). *Complementación proteica de harina de trigo (Triticum aestivum L.) por harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) y suer en pan de molde y tiempo de vida útil*. Tesis de Maestría, Universidad nacional Agraria la Molina, Escuela de Postgrado, Lima.
- Debet, M., & Gidley, M. (2006). Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*(64), 452-334.
- Desa, I.D, B. H., Salkeld, R., Dutra, D., & Oliveira, J. (1988). Vitamin E content of crude and refined vegetable oils in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1, 231-238.
- Dewanto, V., Wu, X. A., & Liu, R. (2002). Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal Agriculture Food Chemistry*(50), 3010-3014.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, I., Tablada, M., & Robledo, C. (2014). *Grupo InfoStat*. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>
- Dini, I., Tenore, G., & Dini, A. (2005). Nutritional and antinutritional composition of Kancolla seeds: an interesting and underexploited andine food plant. *Food Chemistry*, 92, 125-132.
- Dziki, D., & Laskowski, J. (2005). Influence of selected factors on wheat grinding energy requirements. *Teka*, 5, 56-64.
- Eitenmiller, R., & Lee, J. (2004). *Vitamin E: Food Chemistry, Composition, and Analysis*. CRC Press.
- Elizalde, A., & Porrilla, Y. &. (2009). Factores Antinutricionales en semillas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 45-54.
- Ellis, R. C. (1998). Starch Production and Industrial Use. *Journal Science Food Agriculture*, 77, 289-311.
- Ellis, R., Dalece, M., Dupus, C., Lynn, A., Morrison, I., Prentice, R., y otros. (1998). Starchial Use Production and Indust. *Joood Agriculture*, 77, 289-311.
- Escudero Álvarez, E., & Sánchez, G. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2), 61-72.
- Fano, H., & Benavides, M. (1992). *Los Cultivos Andinos en perspectiva. Producción y Utilización en el Cuzco* (Primera ed.). Centro Internacional de la papa.
- FAO. (1970). *Contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre las proteínas*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Colección alimentación y nutrición.
- FAO. (1991). Recuperado el 12 de 12 de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/x5059s/x5059s00.htm>.
- FAO. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granalos a nivel rural*. (C. Arias, Ed.) Recuperado el 03 de Febrero de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/x5027s00.HTM>
- FAO. (2013). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina regional para América Latina y el Caribe.
- FAO, 1991. (s.f.). *Secado de los granos a altas temperaturas*. Recuperado el 03 de 12 de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/x5059s/x5059s00.htm>
- FAO/OMS/ONU. (1985). *Necesidades de energía y de proteínas*. Serie de Informes Técnicos N° 724, Roma.
- Fennema, O. (1993). *Química de los Alimentos* (Segunda ed.). España: Acribia.

- Franca, C., & Gonzales Baró, A. (2012). Experimentos atractivos de química con gusto a biología. *Educación en Ciencias Químicas*, 355, 51-53.
- Friedman, M. (1996). Nutritional Value of proteins Different Food Sources. A Review. *Journal of Food Chemistry*, 44, 6-29.
- Gallardo, M., Gonzáles, J., & Ponessa, G. (1997). Morfología del fruto y semilla de *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa). *Chenopodiaceae. Lilloa*, 71-80.
- Galwey, N. (1993). The potencial of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and products*, 1, 101-106.
- Garda, M. (2009). *Técnicas del manejo de los alimentos* (Tercera ed.). Buenos Aires: Eudeba.
- Garrido, M., Monagas, C., Gómez Cordovés, C., & Bartolomé, B. (2008). Polyphenols and Antioxidant Properties of Almond Skins: Influence of Industrial Processing. *Journal of Food Science*, 73(2), 106-115.
- Gee, J., Wortley, G., Johnson, T., Precio, K., Rutten, A., Houben, G., y otros. (1996). Effects of Saponins and Glycoalkaloids on permeability and viability of mammalian intestinal cells and on the integrity of. *10*, 117-128.
- George, A. (1965). Legal Status and Toxicity of Saponins. *Food and Cosmetics Toxicology*, 3, 85-91.
- Gianna, V. (2013). *Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semillas de Chenopodium quinoa Willd provenientes del Noroeste Argentino*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias exactas Físicas y Naturales.
- Gianna, V., Montes, J., Calandri, E., & Guzmán, C. (2012). Impacto of several variables on the microwave extraction of *Chenopodium Quinoa* willd saponins. *International Journal of Food Dcience & Technology*, 47, 1593-1597.
- Golsberg, C., Orcasitas, E., Chauque, J., & Daza, R. (2015). La quinoa en la región de Noroeste Argentino. Reconstrucción del conocimiento del cultivo y revalorización cultural y alimenticia. *III Congreso Mundial de la Quinua*. Bolivia.
- González Parada, Z., & Pérez Sira, E. (2003). Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot Esculenta* Cranz) pregelatinizados y calentados con microondas. *Acta Científica Venezolana*, 54, 127-137.
- Grilo, E., Costa, P., Gurgel, C., Beserra, A., Almeida, F., & Dimentein, R. (2014). Alpha Tocopherol and gamma tocopherol concentration in vegetable oils. *Food Science and Technology, Campinas*, 34(2), 379-385.
- Guadix, A., Guadix, E., Páez-Dueñas, M., González Tello, P., & Camacho, F. (2003). Procesos tecnológicos y métodos de control en la hidrólisis de proteínas. *Ars Pharmaceutica*, 41(1), 79-89.
- GüçlüÜstündag, & Mazza. (2007). Saponins: Properties, Applications and Processing. Critical Reviews. *Food Science and Nutrition*, 47, 231–258.
- Gudmundson, M., & Eliasson, A. (1990). Retrogradation of amylopectin the effects of amylose added surfactants, emulsifiers. *Carbohydrate Polymers*, 13, 295–315.
- Gunstone, F., Hardwood, J., & Dijkstra. (2007). *The lipid handbook* (Tercera ed.). CRC press.
- Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo* (Tercera ed.). Barcelona, España: Reverté.
- Henry, C., & Chapman, C. (Edits.). (2002). *The nutrition handbook for food processors*. Washington: CRC Press.
- Hevia, F., Wilckens, R., Berti, M., & Badilla, B. (2001). Características del almidón y contenido de proteína de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) cultivada bajo diferentes niveles de nitrógeno en Chillán. *Agro sur*, 29(1), 40-51.
- Hui, Y. (2006). *Handbook of Food Science, Technology and Engineering* (Vol. I). New York, London: CRC Taylor & Francis.
- Hunziker, A. (1943). Las especies alimenticias de *Amaranthus* y *Chenopodium* cultivadas por los indios de América. *Revista Argentina Agronómica*, 10(4), 306-319.
- Hunziker, A. (1952). *Los pseudocereales de la agricultura indígena de América*. Córdoba, Argentina: Museo Botánica de la Universidad Nacional de Córdoba.

- Inouchi, N., Nishi, K., Tanaka, S., Asai, M., Kawase, Y., Hata, Y., y otros. (1999). Characterization of Amaranth and Quinoa Starches. *Journal of Applied Glycoscience*, 46(3), 233-240.
- Ixtaína, V. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispánica L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en Tecnología de Alimentos*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata, Departamento de Química, La Plata.
- Jahaniaval, F., Kakuda, Y., & Marcone, M. (2000). Fatty Acid and Triacylglycerol Compositions of Seed Oils of Five Amaranthus Accessions and Their Comparison to Other Oils. *JAOCs*, 77(8), 847-852.
- Jancurová, M. M. (2009). Quinoa-A review. *Czech J. Food Sci*, 27, 71-79.
- Jiménez de Erramouspe, P., Armada, M., & Gómez Molina, S. (2013). Propiedades físico-químicas, estructurales y de calidad en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Cica, con evaluación de la eficiencia de un proceso artesanal de escarificación en seco. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*, 3(5), 71-79.
- Khalil, A., & Mansour, E. (1995). The effect on cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. *Food Chemistry*, 54, 177-182.
- Khattab, R., Arntfield, S., & Nyachoti, C. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: protein quality evaluation. *Food Science and Technology*, 42, 1107-1112.
- Konishi, Y. H., Tsunoi, H., & Wada, M. (2004). Distribution of Minerals in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Seeds. *Biosci. Biotechnol. Biochem*, 68(1), 231-234.
- Koziol, M. (1991). Afrosimetric estimations of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54, 211-219.
- Koziol, M. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition and Analysis: an Official Publication of the United Nations University, International Network of Food data Systems*, 5(1), 35-68.
- Koziol, M. (1993). Quinoa: A potential new oil crop. En J. Janick, & J. Simon (Edits.), *New crops* (págs. 328-336). New York: Wiley.
- Lagier, S., Hereñú, P., Lagier, R., Cervilla, N., Calandri, E., & Guzmán, C. (2014). *III Reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos (RitQ)* (Primera ed.). (J. Scilipoti, R. Martini, & A. Andreatta, Edits.) Los Cocos, Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Lagua, R., & Claudio, V. (2007). *Diccionario de Nutrición y Dietoterapia* (Quinta ed.). Mc Graw Hill.
- Lezcano, E. (2013). *Cadena Quinoa y Amaranto. Alimentos Argentinos*. Obtenido de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/2014/01Ene_quinoaamaranto.pdf
- Ligarda Samanez, C., Repo Carrasco, R., Encina Zelada, C., & Herrera Bernabé, I. (2012). Extracción con soluciones neutra y alcalina para el aislamiento de fibra soluble e insoluble a partir de salvado de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.). *revista de la Sociedad Química de Perú*, 78(1), 53-64.
- Lindeboom, N., Chang, P., Falk, K., & Tyler, R. (2005). Characteristics of Starch from Eight Quinoa Lines. *Cereal Chemistry*, 82(2), 216-222.
- López Bellido, L. (1996). Nuevas Técnicas para determinar la calidad de las legumbres. *Distribución y Consumo*, 77-83.
- Lorenz, K., & Collins, F. (1990). Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Starch: Physicochemical Properties Functional Characteristics. *Starch/Stärke*, 42, 81-86.
- Martini, J., & Storani, F. (2010). *Obtención de un proceso industrial para la producción de almidón a partir de granos de Chenopodium quinoa Willd: mediante la utilización de métodos químicos, físicos y/o enzimáticos*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba.
- Maupoey, P., Grau, A., Sorolla, A., & Baviera, J. (2001). *Introducción al Secado de los alimentos por aire caliente* (Primera ed.). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

- Mc Cabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering* (Quinta ed.). (B. Clark, & E. Castellano, Edits.) McGraw- Hill, Inc.
- Medina Basso, M., & Aburra, R. (2013). Caracterización del fruto y harina de *Chenopodium quinoa* variedad CICA. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*, 3(5), 79-84.
- Meléndez Martínez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 54(2).
- Meyhuay, M. (s.f). Quinoa: Operaciones postcosecha. 1-36. INDDA y FAO.
- Miranda Villa, P., Mufari, J., Calandri, E., & Peiretti, G. (2015). *Evaluación sisicoquímica de granos de Chenopodium quinoa Willd. cultivados en Río Cuarto, Córdoba*. Congreso.
- Mohapatra, D., & Bal, S. (2006). Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fraction. *Journal of Food Engineering*, 73, 253-259.
- Moncada Rodriguez, L., & Gualdrón de Hernández, L. (2006). Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos. *Revista de Investigación. Universidad de La Salle*, 6(2), 179-187.
- Montoya Restrepo, L., Martínez Vlanchá, L., & Peralta Ballester, L. (2005). Análisis de las variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de la quinua en Colombia. *Revista Innivar*, 25, 103-120.
- Moreno Luzia, D. (2012). *Propiedades Funcionais de óleos extraídos de sementes de frutos do cerrado brasileiro*. Tesis Doctoral, Universidade Estadual Paulista – UNESP. , Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – IBILCE , São José do Rio Preto-SP. .
- Mudambi, S., Rao, S., & Rajagopal, M. (2006). *Food Science*. New Age International.
- Mujica, A. (1996). *Genetic Resources of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J., & Marathe, J. (2001). *Quinoa: ancestral cultivo andino, alimento del presente y del futuro*. Chile: FAO.
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G., & Romero, A. (2006). Informe Final. proyecto quinoa: Cultivo Multipropósito para los países Andinos. Lima, Perú.
- Nascimento, A., Mota, C., Coelho, I., Gueifão, S., Santos, M., Matos, A., y otros. (2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays L.*) consumed in the north of argentina: proximates, minerals and trace elements. *Food Chemistry*, 148, 420-426.
- Nielsen, S. (Ed.). (2009). *Food Analysis* (Cuarta ed.). London: Springer, New York.
- Nieto, C., & Soria, M. (1990). *Proyecto: Procesamiento de la Quinua en Ecuador*. Seminario-taller sobre: Investigación en Posproducción de Quinua en Ecuador, 4 y 5 de Junio. , Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito.
- Nieto, C., & Vimos, C. (1992). *La quinua, cosecha y poscosecha. Algunas Experiencias en Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Normand, F., & Marshall, W. (1988). Differential Scanning Calorimetry of Whole Grain Milled Rice and Milled Rice Flour. *cereal Chemistry*, 66(4), 317-320.
- Obligatoria, N. N. (2013). Quinoa. Requisitos. 1. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Ogungbenle, H. (2003). Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(2), 153-158.
- Ohuida, I. (2001). *Evaluación de complejos enzimáticos en la mejora del valor nutritivo de cereales y leguminosas en la alimentación de pollos en crecimiento*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Unidad de Nutrición Animal.
- Oldways Whole Grains Council. (s.f). Recuperado el 12 de 04 de 2016, de <http://wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/definition-of-whole-grains>
- Orrabalis, C. (2014). *Aprovechamiento Integral de los Frutos de Geoffroea decorticans (chañar), de la Región Fitogeográfica de la Provincia de Formosa*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exáctas Físicas y Naturales, Córdoba.

- Osborne, D., & Voogt, P. (1986). *Análisis de los nutrientes de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Oshodi, A., Ogungbenle, H., & M.O, O. (1999). Chemical composition, nutritional and valuable minerals and functional properties of benniseed (*Sesamum radiatum*), uinomillet (*Pennisetum typhoides*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50, 325-331.
- Padrón Pereira, C., Oropeza Gonzáles, R., & Montes Hernández, A. (2014). Semillas de quinoa (Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. Revisión. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166-218.
- Pagno, C., Dick, M., Assumpcao, C., Rios, A., & Flores, S. (14, 15 y 16 de Noviembre de 2012). Physico chemical characteristics and evaluation of total polyphenols in Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Córdoba, Argentina.
- Prakash, D., & Pal, M. (1998). *Chenopodium*: seed protein, fractionation and amino acid composition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49, 211-275.
- ProEcuador. (2015). Recuperado el 5 de Marzo de 2016, de Instituto de promoción de exportaciones e inversiones. Ministerio de Comercio exterior: <http://proecuador.gob.ec/pubs/perfil-de-quinoa-en-argentina-2015>
- Przybylski, R., Chauhan, G., & Eskin, N. (1994). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) lipids. *Food Chemistry*, 51, 187-192.
- Rembado, M., & Sceni, P. (2009). *La Química en los Alimentos* (Primera ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina: Ministerio de Educación - Instituto Nacional de educación Tecnológica.
- Repo Carrasco Valencia, R., & Serna, L. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) as a source dietary fiber and other functional components. *Food Science and Technology (Campinas)*, 31(1), 225-230.
- Reynaga, A; Quispe, M; Huarachi, A; Calderón, I; Soto, J.L, & Torres, M (2013). Evaluación de las cualidades agroindustriales de los granos de quinua Real. Congreso Internacional de la quinoa. La Paz, Bolivia.
- Repo Carrasco, R. (1991). *Contenido de aminoácidos en algunos granos andinos*. En: *Avances en Alimentos y Nutrición Humana*. Programa de Alimentos Enriquecidos. Publicación 01/91., Universidad nacional Agraria la Molina.
- Repo Carrasco, R. (1991). *Contenido de aminoácidos en algunos granos andinos*. En: *Avances en Alimentos y Nutrición Humana*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Publicación 01/91.
- Repo Carrasco, R., & Encina Zelada, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista Sociedad Química de Perú*, 74(2), 85-99.
- Repo Carrasco, R., Cortéz, G., Onofre Montes, R., Quispe Villapando, L., & Ramos, I. (2007). Cultivos Andinos. En A. León, & M. Rosell (Edits.), *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación Iberoamericana*. (Primera ed., págs. 243-294). Córdoba, Córdoba, Argentina: Iberoamericana.
- Repo Carrasco, R., Encina, C., Binaghi, M., Greco, C., & Romayde de Ferrer, P. (2010). Effects of roasting and boiling of quinoa, kiwicha and kañiwa on composition and availability of minerals in vitro. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 2068-2073.
- Rodas, B., & Bressani, R. (2009). Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 82-87.
- Rodríguez Cuenca, J. (2006). *Las enfermedades en las condiciones de vida prehispanicas*. Recuperado el 7 de 7 de 2011, de http://www.humanas.unal.edu.co/colantropos/documentos/rodriguez_enfermedades.pdf

- Rojas, W., Soto, J., Pinto, M., Jager, M., & Padulosi, S. (Edits.). (2010). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinoa, cañabua y amaranto en Bolivia*. Roma, Italia: Biodiversity Internacional.
- Romo, S., Rosedo, A., Forero, C., & Cerón, E. (2006). Nutritional potencial of quinoa flour (chenopodium quinoa Willd) piartal variety in Colombian Andes, part one. *Facultad de Ciencias Agrpecuarias*, 4(1), 112-125.
- Roncallo, P., Garbus, I., Picca, A., Echenique, V., Carrera, D., Cervigni, G., y otros. (2009). Analisis de las bases geneticas del color en trigo candeal. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 108(9), 9-23.
- Rose, D., & Pike, O. (2006). A Simple method to Measure Lipase Activity in Wheat and Wheat Bran as an Estimation of Storage Quality. *JAOCS*, 83(5), 415-419.
- Roy, R. (2001). *Design of experiment using the Taguchi Approach*. New York, Estados Unidos: John Wiley-Sons.
- Ruales, J., & Nair, B. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (Chenopodium quinoa Willd) seeds. *Plant Food for Human Nutrition*, 42, 1-11.
- Ruales, J., & Nair, B. (1994). Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (Chenopodium quinoa Willd) seeds. *Plant for Human Nutrition*, 45, 223-246.
- Ruales, J., & Nair, N. (1993). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (Chenopodium quinoa Willd) seeds. *Food Chemistry*, 48, 131-136.
- Ruales, J., & Nair, N. (1993). Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (Chenopodium quinoa Willd) seeds. *Food Chemistry*, 48, 137-143.
- Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T., Maguire, A., & O'Brien, N. (2007). Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid profile of Selected Seeds, grains, and Legumes. *Plant Foods Human Nutrition*, 62, 85-91.
- Sabaté, A., Guilois, S., Jaillais, B., & Colonna, P. (2011). Molecular size and mass distributions of native starches using complementary separation methods: Asymmetrical Flow Field Flow Fractionation (A4F) and Hydrodynamic and Size Exclusion Chromatography (HDC-SEC). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399(4), 1493-1505.
- Sammán, N., & Portela, M. (2010). Situación actual y perspectivas futuras de las tablas y base de datos sobre composición de alimentos en el marco de las redes LATINFOODS/INFOODS. *Diaeta*, 28(132), 29-34.
- Santhi, K., & Poongodi Vijayakumar, T. (2013). Pasting properties of rice. En *Advances in Food Science and Nutrition* (págs. 13-14).
- Sanz, L., Pérez, A., & Olías, J. (1992). La lipoxigenasa en el reino vegetal. 1. Propiedades. *Grasas & Aceites*, 43(4), 231-239.
- Sayago, A., Marín, M., Aparicio, R., & Morales, M. (2007). Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y Aceites*, 58(1), 74-86.
- Schlick, G., & Bubenheim, D. (1996). Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. En J. Janick (Ed.), *Progress in New Crops* (págs. 632-640). Alexandria: ASHS Press.
- Sharma, P., & Gujral, H. (2010). Milling behaviour of hulled barley and its thermal and pasting properties. *Journal of Food Engineering*, 97, 329-334.
- Shewry, P. (2002). The Major Seed Storage Proteins of Spelt Wheat, Sorghum, Millets and Pseudocereals. En *Pseudocereals and Less Common Cereals* (págs. 1-24).
- Shewry, P. (2007). Improving the protein content and composition of cereal grains. *Journal of Cereal Science*, 46, 239-250.
- Sparg, S., Light, M., & van Staden, J. (2004). Biological activities and distribution of plantsaponins. *Journal of Ethanol Pharmacology*, 94(2-3), 219-243.
- Stefolani, M., León, A., & Pérez, G. (2013). Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *Starch/Stärke*, 65, 976-983.

- Su Chuen, N., Anderson, A., Coker, J., & Ondrusa, M. (2007). Characterization of lipidoxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, *101*, 185-192.
- Syahaariza, A., Sar, S., Hasjim, J., Tizzoti, M., & Gilbert, R. (2013). The importance of amylose and amylopectin fine structures for starch digestibility in cooked rice grains. *Food Chemistry*, *136*, 742-749.
- Syahaariza, Z., Sar, S., Hasjim, J., Tizzotti, M., & Gilbert, R. (2013). The importance of amylose and amylopectin fine structures for starch digestibility in cooked rice grains. *Food Chemistry*, *136*, 742-749.
- Tang, H., Watanabe, K., & Mitsunaga, T. (2002). Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. *Carbohydrate Polymers*, *49*, 13-22.
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos* (Primera ed.). (C. Rosell, Ed.) Lima: FAO, Roma y ANPE, Lima.
- Tapia, M., Moron, C., Ayala, G., & Fries, A. (2000). Valor Nutricional y patrones de consumo. En *Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación* (Segunda ed.). FAO. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Taylor, J., Belton, P., Beta, T., & Duodu, K. (2014). Increasing the utilization of sorghum, millets and pseudocereals: developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality. *Journal of Cereal Science*, *59*.
- Thompson, J., Manore, M., & Vaughan, L. (2008). *Nutrición*. Madrid, España: Pearson Addison Wesley.
- Torrez, M., Guzman, A., & Carcajal, R. (2002). Valoración Nutricional de 10 variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) del altiplano boliviano. *Biofabro*, *10*, 55-60.
- Troisi, J., Di Fiore, R., Pulvento, C., D'Andria, R., Vega Gálvez, A., Miranda, M., y otros. (2013). Saponinas. En D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (págs. 317-330). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Agricultural Research for Development (CIRAD).
- Valcárcel Yamani, B., & da Silva Lannes, S. (2012). Applications of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and Amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value cereal based foods. *Food and Public Health*, *2*(6), 265-275.
- Valencia, S., Svanberg, U., Sandberg, A., & Ruales, J. (1999). Processing of quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd): effect on in vitro iron availability and phytate hydrolysis. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *50*, 203-211.
- (1978). Vapor Pressure of water above 100°C. En R. Weast (Ed.), *Physics, Handbook of Chemistry and* (58th ed.).
- Varriano Martson, E., & De Francisco, A. (1984). Ultrastructure of quinoa fruit (*Chenopodium quinoa*, Willd). *Food Microstructure*, *3*, 165-173.
- Vega Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*, 2541-2547.
- Vela, P., & Cabrera, J. (1984). Utilización de la semilla de quinoa en la alimentación humana. *Tecnología*, *25*(147), 7-27.
- Vera, L., Astete, F., & Robinson, L. (2014). Perfil de ácidos grasos en granos de tres cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) sometido a tres tipos de procesamiento. *Revista de Investigación Altoandina*, *16*(1), 13-20.
- Vidueiros, S., Gianna, V., Cervilla, N., Calandri, E., Sanahuja, M., Bertero, H., y otros. (13, 14, 15 y 16 de Abril de 2014). Determinación del contenido de saponinas en quinua de distintas regiones de Argentina. *III reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos*. Los Cocos, Córdoba, Argentina.
- Vilche, C., Gely, M., & Santalla, E. (2003). Physical Properties of Quinoa Seeds. *Biosystems Engineering*, *86*, 59-65.
- Wahli, C. (1990). *Quinua: hacia su cultivo comercial*. Quito: Latinreco.

- Watanabe, K., Peng, H., & Mitsunaga, T. (2007). Molecular Structural Characteristics of Quinoa Starch. *Food Science Technology*, 13(1), 73-76.
- Weihrauch, J., & Gardner, J. (1978). Sterol content of foods of plant origin. *Journal of the American Dietetic Association*, 73, 39-47.
- Wong, M., Timms, R., & Goh, E. (1988). Colorimetric Determination of Total Tocopherols in Palm Oil, Olein and Stearin. *JAOCS*, 65(2), 258-261.
- Wood, S., Lawson, L., Fairbanks, L., Robinson, L., & Andersen, W. (1993). Seed Lipid Content and Fatty Acid Composition of Three quinoa cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 6, 41-44.
- Wu, G., Morris, C., & Murphy, K. (2014). Evaluation of Texture Differences among Varieties of Cooked Quinoa. *Journal of Food Science*, 79(11), 2237-2345.
- Yangzhou, J., & Stuttgart, M. (1999). Characterization of Amaranthus and Chenopodium quinoa Starch. *Starch/Stärke*, 51(4), 116-120.
- Yangzhou, J., & Stuttgart, M. (1999). Characterization of Amaranthus and Chenopodium quinoa Starch. *Starch/Stärke*, 51(4), 116-120.
- Yu, L., Perret, J., Davy, B., Wilson, J., & Melby, C. (2002). Antioxidant Properties of cereal Products. *Journal of Food Science*, 67(7), 2600-2603.
- Zambiasi, R., Przybylski, R., Weber Zambiasi, M., & Barbosa Mendonça, C. (2007). Fatty Acid composition of vegetable oils and fat. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, Curitiba*, 5(1), 111-120.
- Zambrano, G. (2012). El aceite de canola y sus efectos en la salud. Artículo de revisión. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 25(2), 94-99.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & C, B. (2003). Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. *Food Research International*, 36, 625-634.
- Zobel, H. F. (1988). Molecules to granules: A comprehensive starch review. *Starch/Stärke*, 40, 44-50.

Anexos

Capítulo 2

Tabla 2.1. Porcentaje (%) de retención de los frutos durante el tamizado.

A. % de Retención de frutos en malla 12 (ASTM). Análisis de la varianza.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
%Retención (Malla 12)	25	0,95	0,94	3,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	2540,06	4	635,02	94,77	< 0,0001
Lote	2540,06	4	635,02	94,77	< 0,0001
Error	134,01	20	6,70	-	-
Total	2674,07	24	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6360

Error: 6,7003 gl: 20

Lote	Medias	n	E.E.				
2011	59,38	5	1,16	A			
2008	60,31	5	1,16	A			
2010	73,50	5	1,16		B		
2007	79,91	5	1,16			C	
2009	84,19	5	1,16				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. % de Retención de frutos en malla 16 (ASTM). Análisis de la varianza.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
% Retención (Malla 16)	25	0,99	0,98	5,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	2533,72	4	633,43	361,76	< 0,0001
Lote	2533,72	4	633,43	361,76	< 0,0001
Error	35,02	20	1,75	-	-
Total	2568,74	24	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,8588

Error: 1,7510 gl: 20

Lote	Medias	n	E.E.				
2009	12,28	5	0,59	A			
2007	18,13	5	0,59		B		
2010	24,61	5	0,59			C	
2008	35,73	5	0,59				D
2011	39,67	5	0,59				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 2.2. Medidas ortogonales, diámetro equivalente, esfericidad y humedad de los FQ.

Diámetro 1 (D1).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
D1	78	0,71	0,69	4,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,78	4	0,45	44,25	< 0,0001
Lote	1,78	4	0,45	44,25	< 0,0001
Error	0,74	73	0,45	-	-
Total	2,52	77	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0761

Error: 0,0101 gl: 73

Lote	Medias	N	E.E.			
2007	2,08	10	0,03	A		
2008	2,09	10	0,03	A		
2010	2,12	19	0,03	A		
2011	2,20	19	0,03		B	
2009	2,47	20	0,03			C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Diámetro 2 (D2).**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
D2	78	0,46	0,43	5,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,92	4	0,23	15,26	< 0,0001
Lote	0,92	4	0,23	15,26	< 0,0001
Error	1,10	73	0,02	-	-
Total	2,20	77	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0931

Error: 0,0151 gl: 73

Lote	Medias	N	E.E.			
2007	2,12	10	0,04	A		
2008	2,12	10	0,04	A		
2011	2,19	19	0,03	A		
2010	2,22	19	0,03	A		
2009	2,41	20	0,03		B	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Espesor (E).**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
E	78	0,66	0,64	8,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,43	4	0,36	35,1	< 0,0001
Lote	1,43	4	0,36	35,11	< 0,0001

Error	0,75	73	0,01	-	-
Total	2,18	77	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0766

Error: 0,0102 gl: 73

Lote	Medias	n	E.E.			
2007	1,00	10	0,03	A		
2008	1,02	10	0,03	A		
2011	1,11	19	0,02		B	
2010	1,15	19	0,02		B	
2009	1,38	20	0,02			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Diámetro Equivalente.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro Equivalente	78	0,75	0,73	4,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,49	4	0,37	53,67	< 0,0001
Lote	1,49	4	0,37	53,67	< 0,0001
Error	0,51	73	0,01	-	-
Total	1,99	77	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0631

Error: 0,0069 gl: 73

Lote	Medias	n	E.E.			
2007	1,64	10	0,03	A		
2008	1,66	10	0,03	A		
2010	1,73	19	0,02		B	
2011	1,77	19	0,02		B	
2009	2,01	20	0,02			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Esfericidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Esfericidad	78	0,37	0,33	4,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	4	0,01	10,54	< 0,0001
Lote	0,04	4	0,01	10,54	< 0,0001
Error	0,08	73	0,001	-	-
Total	0,12	77	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0243

Error: 0,0010 gl: 73

Lote	Medias	n	E.E.			
2007	1,77	10	0,01	A		
2008	0,78	10	0,01	A		
2010	0,78	19	0,01	A		

2011	0,81	19	0,01		B	
2009	0,84	20	0,01			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 2.4. Peso, densidad y porosidad de frutos de quinoa.

Peso 100 semillas (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 100 semillas (g)	78	0,96	0,96	3,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,28	4	0,07	460,25	< 0,0001
Lote	0,28	4	0,07	460,25	< 0,0001
Error	0,01	73	0,0001	-	-
Total	0,29	77	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0093

Error: 0,0002 gl: 73

Lote	Medias	n	E.E.				
2008	0,30	10	0,001	A			
2007	0,32	10	0,0039		B		
2010	0,34	19	0,0028			C	
2011	0,35	19	0,0028			C	
2009	0,47	20	0,0027				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad Real

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Real	35	0,24	0,14	6,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	4	0,02	2,35	< 0,0764
Lote	0,07	4	0,02	3,35	< 0,0764
Error	0,21	30	0,01	-	-
Total	0,28	34	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,01 PCALT=0,1190

Error: 0,0070 gl: 30

Lote	Medias	N	E.E.	
2009	1,15	5	0,04	A
2007	1,19	10	0,03	A
2008	1,24	10	0,03	A
2011	1,26	5	0,04	A
2010	1,28	5	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Densidad Aparente

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Aparente g/mL	45	0,85	0,84	1,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	57,80	< 0,0001
Lote	0,03	4	0,01	57,80	< 0,0001
Error	0,00045	40	0,00011	-	-
Total	0,03	44	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0106

Error: 0,0001 gl: 40							
Lote	Medias	n	E.E				
2011	0,65	5	0,0047	A			
2010	0,66	10	0,0034	A			
2009	0,68	10	0,0034		B		
2007	0,69	10	0,0034			C	
2008	0,72	10	0,0034				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 2.5. Valores L*a*b*.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L	27	0,53	0,44	2,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	84,86	4	21,21	6,11	0,0018
Lote	84,86	4	21,21	6,11	0,0018
Error	76,33	22	3,47	-	-
Total	161,18	26	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,6164

Error: 3,4694 gl: 22						
LOTE	Medias	n	E.E.			
2008	66,34	5	0,83	A		
2010	67,63	6	0,76	A		
2007	68,09	5	0,83	A		
2009	69,52	5	0,83			B
2011	71,44	6	0,76			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
A*	27	0,83	0,80	18,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	90,42	4	22,61	26,75	< 0,0001
Lote	90,42	4	22,61	26,75	< 0,0001

Error	18,59	22	0,85	-	-
Total	109,02	26	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,2914

Error: 0,8452 gl: 22

Lote	Medias	n	E.E.			
2008	3,33	5	0,41	A		
2011	3,65	6	0,38	A		
2009	4,11	5	0,41	A		
2007	5,18	5	0,41		B	
2010	8,20	6	0,38			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
b	27	0,95	0,95	4,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	594,39	4	148,60	116,17	< 0,0001
Lote	594,39	4	1,28	116,17	< 0,0001
Error	28,14	22	1,28	-	-
Total	622,54	26	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,5887

Error: 1,2792 gl: 22

Lote	Medias	n	E.E.			
2008	24,10	5	0,51	A		
2009	24,50	5	0,51	A		
2011	24,90	6	0,46	A	B	
2007	28,80	5				C
2010	36,13	6				C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 2.6. Composición proximal y contenido de saponinas de los FQ.

(A) Contenido de Grasas de los FQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grasas	30	0,93	0,92	5,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	51,24	4	12,81	81,97	< 0,0001
Lote	51,24	4	12,81	81,97	< 0,0001
Error	3,91	25	0,16	-	-
Total	55,15	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4976

Error: 0,1563 gl: 25

Lote	Medias	N	E.E.		
2010	6,05	6	0,16	A	

2011	5,52	6	0,16	A	
2009	8,80	6	0,16		B
2007	8,93	6	0,16		B
2008	9,06	6	0,16		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(A) Contenido de Cenizas de los FQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cenizas	30	0,57	0,50	3,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,31	4	0,08	8,17	0,0002
Lote	0,31	4	0,08	8,17	0,0002
Error	0,24	25	0,01	-	-
Total	0,54	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1222

Error: 0,0094 gl: 2

Lote	Medias	n	E.E.		
2010	3,00	6	0,04	A	
2009	3,04	6	0,04	A	
2007	3,20	6	0,04		B
2011	3,22	6	0,04		B
2008	3,25	6	0,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(B) Contenido de Proteínas de los FQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteínas	30	0,92	0,91	2,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	59,65	4	14,91	76,00	< 0,0001
Lote	59,65	4	14,91	76,00	< 0,0001
Error	4,91	25	0,20	-	-
Total	64,55	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,5575

Error: 0,1962 gl: 25

Lote	Medias	n	E.E.		
2009	13,75	6	0,18	A	
2010	14,14	6	0,18	A	
2007	16,53	6	0,18		B
2011	16,76	6	0,18		B
2008	17,08	6	0,18		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

(B) Contenido de saponinas de los FQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de Saponinas	15	0,99	0,99	1,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,49	3	0,50	336,28	< 0,0001
Lote	1,49	3	0,50	336,28	< 0,0001
Error	0,02	11	0,0015	-	-

Total	1,50	14	-	-	-
-------	------	----	---	---	---

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0636

Error: 0,0015 gl: 11

Lote	Medias	N	E.E.			
2011	2,14	4	0,02	A		
2008	2,67	4	0,02		B	
2007	2,69	3	0,02		B	
2010	3,00	4	0,02			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 2.2. Efecto del lote sobre el contenido de PC en FQ.

Pigmentos Carotenoides (PC)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
mg PC/100 g de FQ	20	0,73	0,66	7,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,15	4	0,04	10,29	0,0003
Lote	0,14	4	0,04	10,29	0,0003
Error	0,05	15	0,0036	-	-
Total	0,20	19	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0972

Error: 0,0036 gl: 15

Lote	Medias	n	E.E.		
2009	0,67	4	0,03	A	
2008	0,70	4	0,03	A	
2011	0,76	4	0,03	A	
2007	0,87	4	0,03		B
2010	0,88	4	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Anexos

Capítulo 3

PARTE 1

Tabla 3.1. Evaluación del tiempo de tamizado sobre: el porcentaje de retención de finos en el ciego y el contenido de proteínas en los FQ.

(A) Efecto del tiempo de tamizado sobre el porcentaje (%) de retención de finos en el ciego.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Retención en el ciego	18	0,27	0,17	18,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,69	2	0,34	2,74	0,0969
Tiempo de tamizado	0,69	2	0,34	2,74	0,0969
Error	1,88	15	0,13	-	-
Total	2,56	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4583

Error: 0,1251 gl: 15

Tiempo de Tamizado (min)	Medias	n	E.E	
10	1,71	6	0,14	A
20	1,95	6	0,14	A
30	2,19	6	0,14	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(B). Efecto del tiempo de tamizado sobre el contenido de proteína de los FQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de Proteínas	21	0,23	0,10	2,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,90	3	0,30	1,70	0,2042
Tiempo de tamizado (min)	0,90	3	0,30	1,70	0,2042
Error	2,99	17	0,18	-	-
Total	3,89	20	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,5997

Error: 0,1759 gl: 17

Tiempo de Tamizado (min)	Medias	n	E.E.	
0	16,65	6	0,17	A
20	16,81	6	0,17	A
30	16,87	3	0,24	A
10	17,18	6	0,17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PARTE 2

Figura 3.1. Efecto del Tipo y Tiempo de desamargado sobre el contenido de proteínas en SQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----

%Proteínas 21 0,30 3,0E-03 1,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,46	6	0,08	1,01	0,4573
Lavado	0,46	6	0,08	1,01	0,4573
Error	1,97	14	0,08	-	-
Total	1,53	20	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,5267

Error: 0,0765 gl: 14

Lavado	Medias	N	0,16	A
A/3 h	16,04	3	0,16	A
A/1 h	16,16	3	0,16	A
A/2 h	16,17	3	0,16	A
HA/ 15 min	16,32	3	0,16	A
0 min	16,34	3	0,16	A
HA/60 min	16,37	3	0,16	A
HA/30 min	16,52	3	0,16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 3.2. Efecto del tipo y tiempo de desamargado sobre el contenido de cenizas en Semillas de quinoa.

Variable N R² R² Aj CV
Cenizas 21 0,99 0,98 2,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,69	6	0,45	168,31	< 0,0001
Lavado	2,69	6	0,45	168,31	< 0,0001
Error	0,04	14	0,0027	-	-
Total	2,73	20	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0984

Error: 0,0027 gl: 14

Lavado	Medias	n	E.E.	A	B	C	D
A/3 h	2,14	3	0,03	A			
A/1 h	2,27	3	0,03		B		
A/2 h	2,28	3	0,03		B		
HA/ 30 min	2,60	3	0,03				C
HA/60 min	2,63	3	0,03				C
HA/ 15 min	2,65	3	0,03				C
Frutos	3,30	3	0,03				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

PARTE 3

Tabla 3.2. Composición química proximal de las semillas de quinoa.

Efecto del lote sobre el contenido de grasas en semillas de quinoa.

Variable N R² R² Aj CV
%Grasas 30 0,92 0,91 5,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	45,06	4	11,26	71,64	< 0,0001
Lote	45,06	4	11,26	71,64	<0,0001
Error	3,93	25	0,16	-	-
Total	48,99	29		-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4991

Error: 0,1572 gl: 25

Lote	Medias	n	E.E.			
2010	5,84	6	0,16	A		
2011	6,80	6	0,16		B	
2009	7,85	6	0,16			C
2008	8,79	6	0,16			D
2007	9,12	6	0,16			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Efecto del lote sobre el contenido de cenizas en semillas de quinoa.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Cenizas	30	0,37	0,27	3,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	4	0,02	3,64	0,0180
Lote	0,09	4	0,02	3,64	0,0180
Error	0,015	25	0,01	-	-
Total	0,024	29	.	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0989

Error: 0,0062 gl:25

Lote	Medias	n	E.E.		
2008	2,05	6	0,03	A	
2007	2,10	6	0,03	A	
2010	2,12	6	0,03	A	
2009	2,13	6	0,03	A	
2011	2,22	6	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Efecto del lote sobre el contenido de proteínas de las semillas de quinoa.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteínas	30	0,85	0,82	3,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47,90	4	11,98	34,13	< 0,0001
Lote	47,90	4	11,98	34,13	< 0,0001
Error	8,77	25	0,35	-	-
Total	56,68	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7455

Error: 0,3509 gl: 25						
Lote	Medias	N	E.E.			
2009	13,81	6	0,24	A		
2010	14,66	6	0,24		B	
2008	16,5	6	0,24			C
2007	16,54	6	0,24			C
2011	17,11	6	0,24			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 3.3. Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de grasas, proteínas y cenizas las SQ.

Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de Proteínas en las SQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteínas	59	2,8E-03	0,00	9,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,33	1	0,33	0,16	0,6869
Tratamiento	0,33	1	0,33	0,16	0,6869
Error	116,17	57	2,04	-	-
Total	116,50	58	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7510

Error: 2,0382 gl: 57				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Sin Lavado	15,57	29	0,27	A
Lavadas	15,72	30	0,26	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de grasas en las SQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Grasas	59	3,2E-03	0,00	17,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,33	1	0,33	0,18	0,6699
Tratamiento	0,33	1	0,33	0,18	0,6699
Error	102,50	57	1,80	-	-
Total	102,83	58	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7055

Error: 1,7982 gl: 57				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Lavadas	7,68	30	0,24	A
Sin Lavado	7,83	29	0,24	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de Cenizas en las SQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Cenizas	59	0,95	0,95	4,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,04	1	15,04	1147,97	< 0,0001

Tratamiento	15,04	1	15,04	1147,07	< 0,0001
Error	0,75	57	0,01	-	-
Total	15,78	58	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0602

Error: 0,0131 gl: 57

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
Lavadas	2,12	30	0,02	A	
Sin Lavado	3,13	29	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 3.3. CAA de las SQ y contenido de humedad después del proceso de desamargado por FCA.

(A) Capacidad de absorción de agua de las semillas de quinoa.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%AA	15	0,60	0,45	7,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1177,56	4	294,39	3,83	0,0388
Lote	1177,56	4	294,39	3,83	0,0388
Error	769,28	10	76,93	-	-
Total	1946,84	14	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,01 PCALT=23,0254

Error: 76,9280 gl: 10

Lote	Medias	N	E.E.	.
2009	99,73	3	5,06	A
2010	103,07	3	5,06	A
2011	110,67	3	5,06	A
2008	116,80	3	5,06	A
2007	124,00	3	5,06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$).

(B) Intervalos de Confianza

Bilateral. Estimación paramétrica						
Variable	Parámetro	Estimación	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
%AA	Media	110,85	3,04	15	104,32	117,38

(C) Contenido de Humedad de las SQ luego del desamargado por FCA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Humedad	45	0,10	0,01	3,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10,05	4	2,51	1,16	0,3424
Lote	10,05	4	2,51	1,16	0,3424
Error	86,60	40	2,17	-	-
Total	96,66	44	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,4695

Error: 2,1651 gl: 40

Lote	Medias	D.E.	N	EE	
2007	43,93	1,27	9	0,49	A
2008	44,57	1,46	9	0,49	A
2009	43,80	1,65	9	0,49	A
2010	44,06	1,53	9	0,49	A

2011	43,10	1,42	9	0,49	A
------	-------	------	---	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 3.5. Contenido de saponinas en las SQ

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de Saponinas	20	0,60	0,49	13,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	4	0,0039	5,54	0,0061
Lote	0,02	4	0,0039	5,54	0,0061
Error	0,01	15	-	-	-
Total	0,03	19	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0429

Error: 0,0007 gl: 15

Lote	Medias	n	E.E		
2011	0,15	4	0,01	A	
2008	0,18	4	0,01	A	
2009	0,20	4	0,01		B
2007	0,21	4	0,01		B
2010	0,23	4	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 3.4. Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de saponinas de las semillas.

Efecto del desamargado por FCA sobre el contenido de saponinas de las semillas de los lotes 2007 a 2011.

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	% de Saponinas	7	1,00	1,00	2,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10,54	1	10,54	9089,26	< 0,0001
Tratamiento	10,54	1	10,54	9089,26	< 0,0001
Error	0,01	5	0,0012	-	-
Total	10,55	6	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0772

Error: 0,0012 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
Lavadas	0,21	4	0,02	A	
Sin Lavar	2,69	3	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	% de Saponinas	8	1,00	1,00	1,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,45	1	12,45	27666,78	< 0,0001
Tratamiento	12,45	1	12,45	27666,78	< 0,0001
Error	0,0027	6	0,00045	-	-
Total	12,45	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0367

Error: 0,0005 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E		
Lavadas	0,18	4	0,01	A	
Sin Lavar	2,67	4	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	% de Saponinas	8	1,00	1,00	0,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

FV	SC	gl	F	p-valor	
Modelo	15,35	1	15,35	76729,00	< 0,0001
Tratamiento	15,35	1	15,35	767229,00	< 0,0001
Error	0,0012	6	0,0002	-	-
Total	15,35	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0245

Error: 0,0002 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E		
Lavadas	0,23	4	0,01	A	
Sin Lavar	3,00	4	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	% de Saponinas	8	1,00	1,00	4,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

FV	SC	gl	F	p-valor	
Modelo	8,00	1	8,00	2857,14	< 0,0001
Tratamiento	8,00	1	8,00	2857,14	< 0,0001
Error	0,02	6	0,0028	-	-
Total	8,02	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0916

Error: 0,0028 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E		
Lavadas	0,15	4	0,03	A	
Sin Lavar	2,15	4	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

ANEXOS

Capítulo 4

PARTE 1

Tabla 4.2. Pérdida de ST en función del TC (mg/100 g de semillas)

Variable	N	R ²	R ² A	CV
mg ST/100 g de semillas	18	0,78	0,77	18,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	32001,97	1	32001,97	58,39	< 0,0001
Tiempo de Cocción (s)	32001,97	1	32001,97	38,39	< 0,0001
Error	8769,50	16	548,09	-	-
Total	40771,47	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=23,3958

Error: 548,0940 gl: 16

Tiempo de Cocción (s)	Medias	n	E.E		
300-400	83,39	9	7,80	A	
600-700	166,72	9	7,80		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 4.3. Comparación de la pérdida de proteínas y ST entre MC.

A. Pérdida de proteínas en los los distintos MC.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
mg de proteína/100 g de semillas	24	0,94	0,93	20,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	64612,15	3	21537,38	99,25	< 0,0001
Método	64612,15	3	21537,38	99,25	< 0,0001
Error	4340,16	20	217,01	-	-
Total	68952,31	24	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=18,8178

Error: 217,0082 gl: 20

Método	Medias	n	E.E.				
H	10,94	6	6,01	A			
VP	39,56	6	6,01		B		
HP	95,52	6	6,01			C	
H	145,74	6	6,01				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Pérdida de ST en los distintos MC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ST	24	0,94	0,94	22,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,45	3	2,48	111,93	< 0,0001
Método	7,45	3	2,48	111,93	< 0,0001
Error	0,44	20	0,02	-	-
Total	7,89	23	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1902

Error: 0,0222 gl: 20

Método	Medias	n	E.E				
VP	0,10	6	0,06	A			
V	0,22	6	0,06		B		
HP	0,70	6	0,06			C	
H	1,56	6	0,06				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PARTE 2

Tabla 4.3. Porcentaje de SQ cocidas según el TC y MC.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de granos cocidos	48	0,95	0,94	23,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	76837,50	12	6404,13	59,86	< 0,0001
Tiempo de Cocción (TC) (min)	11290,63	2	5645,31	52,78	< 0,0001
Método de Cocción (MC)	59343,75	3	19781,25	184,9	< 0,0001
Vol. De Agua (mL)	18,75	1	18,75	0,18	0,6780
TC*MC	6184,38	6	1030,73	9,64	< 0,0001
Error	3743,75	35	106,96	-	-
Total	80581,25	47	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=7,6430

Error: 106,9643 gl: 35

TC (min)	Medias	N	E.E.		
10	22,81	16	2,59	A	
15	53,13	16	2,59		B
20	57,19	16	2,59		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=8,8940

Error: 106,9643 gl: 35

Método	Medias	N	E.E.		
V	7,50	12	2,99	A	
VP	11,25	12	2,99	A	
H	75,00	12	2,99		B
HP	83,75	12	2,99		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=6,0097

Error: 106,9643 gl: 35

Vol de agua (mL)	Medias	n	E.E.	
500	43,75	24	2,11	A

400	45,00	24	2,11	A
-----	-------	----	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=15,8445

Error: 106,9643 gl: 35

TC (min)	MC	Medias	N	E.E.				
10	V	0,00	4	5,17	A			
10	VP	2,50	4	5,17	A			
15	V	6,25	4	5,17	A			
20	VP	12,50	4	5,17		B		
20	V	16,25	4	5,17		B		
15	VP	18,75	4	5,17			C	
10	H	28,75	4	5,17				D
10	HP	60,00	4	5,17				D
15	HP	91,25	4	5,17				D
15	H	96,25	4	5,17				D
20	HP	100,00	4	5,17				D
20	H	100,00	4	5,17				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.5. Porcentaje de AA de las SQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%AA	48	0,95	0,94	21,51

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	348390,41	12	29031,53	58,09	<0,0001
TC	41952,80	2	20976,40	41,97	<0,0001
MC	243996,49	3	81332,16	162,73	<0,0001
Vol. De agua	1499,24	1	1499,24	3,00	0,0921
TC*MC	60941,88	6	10156,98	20,32	<0,0001
Error	17492,48	35	499,79	-	-
Total	365882,89	47	-	-	-

A. Porcentaje de AA de las SQ según el MC

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=19,2252

Error: 499,7852 gl: 35

Método	Medias	N	E.E.				
V	23,44	12	6,45	A			
VP	43,28	12	6,45		B		
H	164,15	12	6,45			C	
HP	184,86	12	6,45				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Porcentaje AA de las SQ según el TC.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=16,5210

Error: 499,7852 gl: 35

TC (min)	Medias	N	E.E.				
10	66,03	16	5,59	A			
15	107,60	16	5,59		B		

20	138,16	16				C
----	--------	----	--	--	--	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=12,9904

Error: 499,7852 gl: 35				
Vol de agua (mL)	Medias	n	E.E.	
500	98,34	24	4,56	A
400	109,52	24	4,56	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

C. Porcentaje de AA de las SQ según el MC y TC.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=34,2492

Error: 499,7852 gl: 35									
TC (min)	MC	Medias	n	E.E.					
10	V	20,36	4	11,18	A				
15	V	20,75	4	11,18	A				
20	VP	26,42	4	11,18	A				
20	V	29,21	4	11,18	A				
10	VP	46,25	4	11,18	A				
15	VP	57,17	4	11,18	A				
10	HP	81,60	4	11,18		B			
10	H	115,90	4	11,18			C		
15	H	163,12	4	11,18				D	
15	HP	189,38	4	11,18					E
20	H	213,44	4	11,18					E
20	HP	283,58	4	11,18					F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 4.5.A Porcentaje de humedad de las SQ cocidas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Humedad	48	0,95	0,94	9,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	14421,27	11	1311,02	66,47	< 0,0001
MC	12472,95	3	4157,65	210,79	< 0,0001
TC (min)	513,71	2	256,85	13,02	0,0001
MC*TC	1434,61	6	239,10	12,12	< 0,0001
Error	710,06	36	19,72	-	-
Total	15131,33	47	.	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=6,8039

Error: 19,7240 gl: 36									
MC	TC(min)	Medias	n	E.E.					
V	15	26,35	4	2,22	A				
V	10	28,97	4		A				
VP	20	29,72			A				
V	20	31,05			A				
VP	10	38,76				B			

VP	15	42,74				B			
HP	10	52,67					C		
H	10	56,70					C		
H	15	63,83						D	
HP	15	67,32						D	
H	20	70,45						D	
HP	20	76,66							E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 4.5.B. Intervalo de Confianza (95%) del contenido de humedad de SQ cocidas con V y VP.

Estimación paramétrica						
Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	N	LI(95%)	LS(95%)
% Humedad	Media	32,93	1,48	24	29,87	35,99

Tabla 4.5.C. Intervalos de Confianza (95%) del % de humedad a cada de TC para los MC: H y HP.

Bilateral							
Estimación paramétrica							
Tiempo	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
10	% Humedad	Media	54,69	1,26	8	51,71	57,66
15			65,57	2,18	8	60,41	70,73
20			73,56	1,31	8	70,47	76,65

Figura 4.6. Contenido de TT según MC.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
µg TT/g de aceite	150	0,37	0,34	26,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1727752,17	6	287958,69	14,08	< 0,0001
Vol. De agua (mL)	5310,76	1	5310,76	0,26	0,6111
TC (min)	999538,83	2	499769,41	24,43	< 0,0001
MC	718316,46	3	239438,82	11,71	< 0,0001
Error	2924784,90	143	20453,04	-	-
Total	4652537,07	149	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=68,3241

Error: 20453,0413 gl: 143

Método	Medias	n	E.E.			
V	454,26	36	23,84	A		
HP	523,11	36	23,84		B	
VP	545,41	42	22,24		B	
H	651,06	36	23,84			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.7. Contenido de TT según tiempo TC.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=58,7746

Error: 20453,0413 gl: 143

TC (min)	Medias	n	E.E.		
20	466,03	48	20,64	A	
15	509,55	48	20,64	A	
10	654,80	54	19,62		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.8. Contenido de TT según Volumen de agua (mL).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=46,1506

Error: 20453,0413 gl: 143

Vol. De agua (mL)	Medias	n	E.E.
500	537,48	78	A
400	549,43	72	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.9. Contenido de TT en aceites de SQ cocidas por diferentes MC y TC.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	3096645,56	11	281513,23	24,97	< 0,0001
MC	718434,41	3	239478,14	21,24	< 0,0001
TC (min)	996411,43	2	498205,72	44,19	< 0,0001
MC**TC (min)	1374204,15	6	229034,02	20,31	< 0,0001
Error	1555891,51	138	11274,58	-	-
Total	4652537,07	149		-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=90,0557

Error: 11274,5762 gl: 138

MC	TC (min)	Medias	n	E.E.				
V	10	370,11	12	30,65	A			
HP	20	395,14	12	30,65	A			
VP	20	420,60	12	30,65	A			
H	15	480,62	12	30,65		B		
V	15	493,16	12	30,65		B		
HP	15	493,31	12	30,65		B		
V	20	499,50	12	30,65		B		
H	20	548,86	12	30,65		B		
VP	15	571,12	12	30,65		B		
VP	10	646,59	18	25,03			C	
HP	10	680,88	12	30,65			C	
H	10	923,70	12	30,65				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 4.7. Intervalos de Confianza (95%) para los contenidos mg de TT/g de aceite de quinoa según los MC.

Bilateral			
Estimación Paramétrica			

Método	n	Variable	Parámetro	Estimación	E.E	LI (95%)	LS (95%)
H	36	µg TT/g de aceite	Media	651,06	38,09	573,74	728,39
HP				523,11	26,56	469,19	577,03
V				454,26	13,50	426,85	481,67
VP				560,46	23,84	512,32	608,60

Figura 4.10. Pérdida de ST (mg/100 g de semillas) según el MC.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
mg ST/100 g de semillas	96	0,81	0,80	45,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	94442985,42	6	15740497,57	63,96	< 0,0001
MC	79531433,33	3	26510477,78	107,72	< 0,0001
TC (min)	14907014,58	2	7453507,29	30,29	< 0,0001
Vol. Agua (mL)	4537,50	1	4537,50	0,02	0,8923
Error	21903397,92	89	246105,59	-	-
Total	116346383,33	95	-	-	-

A. Pérdida de ST (mg/100 g de semillas) según el MC.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=295,6909

Error: 246105,5946 gl: 89

MC	Medias	N	E.E.		
VP	135,42	24	101,26	A	
V	229,58	24	101,26	A	
H	1999,58	24	101,26		B
HP	2003,75	24	101,26		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.10. B. Pérdida de ST según el Vol. De agua (mL).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=201,0621

Error: 246105,5946 gl: 89

Vol. De agua (mL)	Medias	n	E.E.	
500	1085,21	48	71,60	A
400	1085,21	48	71,60	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.10.C Pérdida de ST (mg/100 g de semillas) según el TC.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=254,8481

Error: 246105,5946 gl: 89

TC (min)	Medias	N	E.E.	

10	600,31	32	87,70	A		
15	1110,94	32	87,70		B	
20	1565,00	32	87,70			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.11. Pérdida de S T (mg/100 g de semillas) según el MC y TC.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	110040058,33	11	10003641,67	133,25	<0,0001
MC	79531433,33	3	26510477,78	353,12	<0,0001
TC (min)	14907014,58	2	7453507,29	99,28	<0,0001
MC*TC (min)	15601610,42	84	2600268,40	34,64	<0,0001
Error	6306325,00	84	75075,30	-	-
Total	116346383,33	95		-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=286,8415

Error: 75075,2976 gl: 84

MC	TC (min)	Medias	n	E.E.						
VP	15	105,00	8	96,87	A					
VP	10	125,00	8	96,87	A					
VP	20	176,25	8	96,87	A					
V	15	197,50	8	96,87	A					
V	10	212,50	8	96,87	A					
V	20	278,75	8	96,87	A					
HP	10	763,75	8	96,87		B				
H	10	1300,00	8	96,87			C			
H	15	2070,00	8	96,87				D		
HP	15	2071	8	96,87				D		
H	20	2628,75	8	96,87					E	
HP	20	3176,25	8	96,87						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Intervalos de Confianza (95%) para la pérdida de ST en los MC que emplearon vapor.

Bilateral							
Estimación paramétrica							
MC	Variable	Parámetro	Estimación	n	E.E.	LI (95%)	LS (95%)
V	mg ST /100 g semillas	Media	229,58	24	47,59	131,13	328,04
VP			135,42	24	18,92	98,28	174,56

Figura 4.15. Pérdida de proteínas (mg/100 g de semillas)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
mg de proteína/100 g de se..	48	0,72	0,69	25,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	499,89	4	124,97	26,98	< 0,0001
MC	158,01	1	158,01	34,11	< 0,0001
TC (min)	334,71	2	167,35	36,13	< 0,0001
Vol. De agua (mL)	7,18	1	7,18	1,55	0,2199

Error	199,16	43	4,63	-	-
Total	699,05	47	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,2505

Figura 4.12.A. Pérdida de proteínas (mg/100 g de semillas) según MC

Error: 4,6316 gl: 43

MC	Medias	N	E.E.		
H	6,73	24	0,44	A	
HP	10,36	24	0,44		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.12.B. Pérdida de proteínas (mg/100 g de semillas) según el TC.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,5904

Error: 4,6316 gl: 43

TC (min)	Medias	N	E.E.		
10	4,92	16	0,54	A	
15	9,61	16	0,54		B
20	11,12	16	0,54		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.12. Pérdida de proteínas (mg/100 g de semillas) según el Vol. de agua

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,2505

Error: 4,6316 gl: 43

Vol. de agua (mL)	Medias	N	E.E.		
400	8,16	24	0,44	A	
500	8,93	24	0,44		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4.13. Pérdida de proteínas (mg/100 g de semillas) según la interacción MC y TC.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
mg de proteína/100 g de se..	48	0,95	0,94	10,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	663,60	5	132,72	157,21	< 0,0001
MC	158,01	1	158,01	187,16	< 0,0001
TC (min)	334,71	2	167,35	198,24	< 0,0001
MC*TC (min)	170,88	2	85,44	101,21	< 0,0001
Error	35,46	42	0,84	-	-
Total	699,05	47	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,9719

Error: 0,8442 gl: 42

MC	TC (min)	Medias	n	E.E.		
HP	10	4,10	8	0,32	A	

H	10	5,74	8	0,32		B		
H	15	6,10	8	0,32		B		
H	20	8,37	8	0,32			C	
HP	15	13,11	8	0,32				D
HP	20	13,87	8	0,32				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PARTE 3

Figura 4.19. Contenido de proteínas en semillas lavadas crudas y cocidas, con y sin secado (g%).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteínas g%	13	0,32	0,09	2,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,52	3	0,17	1,38	0,3093
Tratamiento	0,52	3	0,17	1,38	0,3093
Error	1,13	9	-	-	-
Total	1,65	12	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,01 PCALT=1,0000

Error: 0,1256 gl: 9

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
SL y Pr	14,24	4	0,18	A
SPr y S	14,28	3	0,20	A
SCr y S	14,63	3	0,20	A
SL y Cr	14,68	3	0,20	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$).

PARTE 4

Tabla 4.9. Intervalos de Confianza (95%) establecidos para las pérdidas nutricionales en las AC durante la precocción de SQ (VP:10-11 min) en los lotes 2007 a 2011.

Bilateral						
Estimación paramétrica						
Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI (95%)	LS (95%)
Proteínas (mg/100g de semillas)	Media	26,27	2,42	47	21,39	31,15
ST (mg/100 g de semillas)		179,83	179,83	47	154,77	204,88

Tabla 4.10. Intervalos de Confianza (95%) establecidos con las Partes 1, 2 y 4 del Capítulo, para las pérdidas nutricionales en las AC durante la precocción SQ (VP:10-11 min).

Tabla 4.13. Composición química proximal de las SQ precocidas.

Contenido de Grasas de SP de quinoa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Grasas	30	0,83	0,80	7,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	39,89	4	9,27	29,51	< 0,0001
Lote	39,89	4	9,27	29,51	< 0,0001
Error	8,45	25	0,34	-	-
Total	48,34	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7317

Error: 0,3380 gl: 25						
Lote	Medias	n	E.E.			
2010	5,58	6	0,24	A		
2011	6,71	6	0,24		B	
2009	7,06	6	0,24		B	
2007	8,48	6	0,24			C
2008	8,67	6	0,24			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Contenido de Cenizas en SP de quinoa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Cenizas	30	0,42	0,33	3,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	4	0,02	4,52	0,0069
Lote	0,09	4	0,02	4,52	0,0069
Error	0,12	25	0,005	-	-
Total	0,21	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0889

Error: 0,0050 gl: 25						
Lote	Medias	n	E.E.			
2007	1,87	6	0,03	A		
2010	1,90	6	0,03	A		
2008	1,95	6	0,03			B
2009	1,99	6	0,03			B
2011	2,02	6	0,03			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Contenido de Proteínas en SP de quinoa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Proteínas	30	0,84	0,82	3,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	45,68	4	11,42	33,30	< 0,0001
Lote	45,68	4	11,42	33,30	< 0,0001

Error	8,57	25	-	-	-
Total	54,25	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7370

Error: 0,3429 gl: 25

Lote	Medias	n	E.E.			
2009	13,55	6	0,24	A		
2010	14,42	6	0,24		B	
2008	14,76	6	0,24		B	
2007	16,30	6	0,24			C
2011	16,90	6	0,24			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Figura 4.22. Efecto del tratamiento de precocción sobre la composición proximal de las SQ.

Efecto sobre el contenido de Cenizas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Cenizas	60	0,51	0,50	4,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,48	1	0,48	61,16	< 0,0001
Tratamiento	0,48	1	0,48	61,16	< 0,0001
Error	0,46	58	0,01	-	-
Total	0,94	59	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0460

Error: 0,0079 gl: 58

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
SP	1,94	30	0,02	A	
SC	2,12	30	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Efecto sobre el contenido de Grasas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Grasas	60	0,02	0,01	17,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,18	1	2,18	1,30	0,2586
Tratamiento	2,18	1	2,18	1,30	0,2586
Error	97,33	58	1,68	-	-
Total	99,51	59	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,6695

Error: 1,6781 gl: 58

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
SP	7,30	30	0,24	A	
SC	7,68	30	0,24		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Efecto sobre el contenido de Proteínas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Proteínas	60	0,04	0,02	8,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,29	1	4,29	2,24	0,1397
Tratamiento	4,29	1	4,29	2,24	0,1397
Error	110,93	58	1,91	-	-
Total	115,22	59	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7148

<i>Error: 1,9126 gl: 58</i>				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
SP	15,19	30	0,25	A
SC	15,72	30	0,25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXOS

Capítulo 5

PARTE 1

Tabla 5.3. Efecto del tratamiento sobre el contenido de proteínas de SQ y HQ.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Proteínas	19	0,78	0,70	2,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	CM	gl	F	p-valor
Modelo	4,53	0,91	5	9,27	0,0006
Tratamiento	4,53	0,91	5	9,27	0,0006
Error	1,27	0,10	13	-	-
Total	5,80		18	-	-

Tratamiento: Cocción, secado y Molienda.

Test: DGC Alfa=0,01 PCALT=0,7818

Error: 0,0978 gl: 13

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
SL y Cr	14,68	3	0,18	A	
SLCr y S	14,63	3	0,18	A	
SPr y S	14,28	3	0,18	A	
SL y Pr	14,24	4	0,16	A	
HC	13,72	3			B
HP	13,26	3			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$).

PARTE 2

Ensayo de Secado 1

Tabla 5.4. Porcentaje de Humedad de SC y SP de quinoa secadas a diferentes tiempos.

A. Efecto del TS sobre el contenido de humedad de SC de quinoa.

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SC	% Humedad	81	0,95	0,95	13,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9940,61	8	1242,58	185,60	< 0,0001
Tiempo de Secado (TS) (min)	9940,61	8	1242,58	185,60	< 0,0001
Error	482,03	72	6,69	-	-
Total	10422,64	80	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,5417

Error: 6,6948 gl: 72										
TS (min)	Medias	n	E.E.							
0	43,10	9	0,86	A						
5	30,15	9	0,86		B					
10	22,33	9	0,86			C				
15	18,26	9	0,86				D			
20	14,49	9	0,86					E		
25	12,15	9	0,86						F	
30	10,48	9	0,86						F	
35	9,14	9	0,86						F	
50	6,65	9	0,86							G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

B. Efecto del TS sobre el contenido de humedad de SP de quinoa.

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SP	% Humedad	144	0,96	0,96	9,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18866,98	15	1257,80	207,80	< 0,0001
Tiempo de Secado (TS) (min)	18866,98	15	1257,80	207,80	< 0,0001
Error	774,77	128	6,05	-	-
Total	19641,74	143	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,4430

Error: 6,0529 gl: 128										
TS (min)	Medias	n	E.E.							
0	50,13	9	0,82	A						
5	40,26	9	0,82		B					
10	40,20	9	0,82			C				
15	37,57	9	0,82			C				
20	35,08	9	0,82				D			
25	30,88	9	0,82					E		
30	28,06	9	0,82						F	
35	24,40	9	0,82						G	
40	23,31	9	0,82						G	
45	20,19	9	0,82							H
50	18,76	9	0,82							H
55	18,11	9	0,82							H
60	14,70	9	0,82							I
65	13,94	9	0,82							I
70	11,99	9	0,82							J
75	10,62	9	0,82							J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

C. Efecto del tratamiento (Secado de SC o SP) sobre el contenido de humedad de las semillas a cada TS.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Humedad	144	0,95	0,94	11,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	17394,68	15	159,65	154,25	<0,0001
Tiempo (min)	7232,86	7	1033,27	137,44	<0,0001
Tratamiento	9737,97	1	9737,97	1295,27	<0,0001
Tiempo (min)*Tratamiento	424,86	7	60,55	8,05	<0,0001
Error	962,32	128	7,52	-	-
Total	18357,00	143	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,7227

Error: 7,5181 gl: 128

Tiempo (min)	Tratamiento	Medias	n	E.E.										
5	SP	40,26	9	0,91	A									
10	SP	40,20	9	0,91	A									
15	SP	37,57	9	0,91		B								
20	SP	35,08	9	0,91		B								
25	SP	30,88	9	0,01			C							
5	SC	30,15	9	0,91			C							
30	SP	28,06	9	0,91			C							
35	SP	24,40	9	0,91				D						
10	SC	22,33	9	0,91				D						
50	SP	18,76	9	0,91					E					
15	SC	18,26	9	0,91					E					
20	SC	14,49	9	0,91						F				
25	SC	12,15	9	0,91							G			
30	SC	10,48	9	0,91							G			
35	SC	9,14	9	0,91							G			
50	SC	6,65	9	0,91								H		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 5.7. Comparación de la cinética de secado de SC en los ES 1 y 2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%H	144	0,96	0,95	12,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14505,94	15	967,06	184,49	<0,0001
ES (1 y 2)	535,81	1	535,81	102,22	<0,0001
Tiempo (min)	13716,29	7	1959,47	373,82	<0,0001
ES*Tiempo (min)	253,84	7	36,26	6,92	<0,0001
Error	670,94	128	5,24	-	-
Total	15176,88	143	-	-	-

A. Efecto del ES sobre el contenido de humedad de las SC

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7543

Error: 5,2417 gl: 128

ES	Medias	n	E.E.		
1	20,01	72	0,27	A	

2	16,15	72	0,27		B
---	-------	----	------	--	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A. Efecto del TS sobre el contenido de humedad de las SC de los ES 1 y 2

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,5666

Error: 5,2417 gl: 128

Tiempo (min)	Medias	n	E.E.									
0	39,35	18	0,54	A								
5	25,68	18	0,54		B							
10	20,91	18	0,54			C						
15	16,29	18	0,54				D					
20	13,45	18	0,54					E				
25	11,65	18	0,54						F			
30	9,27	18	0,54							G		
35	8,07	18	0,54								G	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Efecto de la interacción ES*TS sobre el contenido de humedad de las SC de los ES 1 y 2

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,2735

Error: 5,2417 gl: 128

ES	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.									
1	0	43,10	9	0,76	A								
2	0	35,59	9	0,76		B							
1	5	30,15	9	0,76			C						
1	10	22,33	9	0,76				D					
2	5	21,22	9	0,76				D					
2	10	19,49	9	0,76					E				
1	15	18,26	9	0,76					E				
1	20	14,49	9	0,76						F			
2	15	14,32	9	0,76						F			
2	20	12,42	9	0,76							G		
1	25	12,15	9	0,76							G		
2	25	11,15	9	0,76							G		
1	30	10,48	9	0,76							G		
1	35	9,14	9	0,76								H	
2	30	8,06	9	0,76								H	
1	35	7,00	9	0,76									H

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 5.4. Contenido de humedad de las SC de quinoa secadas a diferentes tiempos. Intervalos de Confianza (95%).

Tiempo (min)	Estimación paramétrica		
	Estimación de la Media	E.E	N
0	39,35	0,95	18
5	25,68	1,45	18
10	20,91	0,71	18
15	16,29	0,76	18
20	13,45	0,49	18

25	11,65	0,37	18
30	9,27	0,40	18
35	8,07	0,39	18

Figura 5.9. Comparación de la cinética de secado de SP de quinoa en los ES 1 y 2.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%H	144	0,91	0,90	7,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9947,81	15	663,19	86,68	<0,0001
ES (1 y 2)	30,54	1	30,54	3,99	0,0479
Tiempo (min)	9851,34	7	1407,33	183,95	<0,0001
ES*Tiempo (min)	65,94	7	9,42	1,23	0,2904
Error	979,27	228	7,65	-	-
Total	10927,08	143	-	-	-

A. Efecto del TS sobre el contenido de humedad de las SP de los ES 1 y 2

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,8926

Error: 7,6506 gl: 128

Tiempo (min)	Medias	n	E.E								
0	51,80	18	0,65	A							
5	41,53	18	0,65		B						
10	40,77	18	0,65		B						
15	37,72	18	0,65			C					
20	34,81	18	0,65				D				
25	30,87	18	0,65					E			
30	27,51	18	0,65						F		
35	24,10	18	0,65							G	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Efecto de la interacción ES* TS sobre el contenido de humedad de las SP de quinoa.

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,7466

Error: 7,6506 gl: 128

ES	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.							
2	0	53,47	9	0,92	A						
1	0	50,13	9	0,92		B					
2	5	42,79	9	0,92			C				
2	10	41,34	9	0,92			C				
1	5	40,26	9	0,92			C				
1	10	40,20	9	0,92			C				
2	15	37,86	9	0,92				D			
1	20	35,12	9	0,92					E		
2	20	34,51	9	0,92					E		
1	25	30,88	9	0,92						F	
2	25	30,86	9	0,92						F	
2	30	28,16	9	0,92							G

1	30	26,85	9	0,92							G
1	35	24,40	9	0,92							H
2	35	23,79	9	0,92							H

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 5.6. Contenido de humedad de SC y SP de quinoa secadas a diferentes tiempos. ES 2.

A. Contenido de humedad en SC de quinoa secadas a diferentes tiempos. ES 2.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5448,30	7	779,76	250,75	<0,0001
Tiempo (min)	5458,30	7	779,76	250,75	<0,0001
Error	199,02	64	3,11	-	-
Total	5657,32	71	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,7340

Error: 3,1097 gl: 64

Tiempo (min)	Medias	n	E.E.										
0	35,59	9	0,59	A									
5	21,22	9	0,59		B								
10	19,49	9	0,59		B								
15	14,32	9	0,59				C						
20	12,42	9	0,59					D					
25	11,15	9	0,59					D					
30	8,06	9	0,59									E	
35	7,00	9	0,59									E	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Contenido de humedad de SP de quinoa secadas a diferentes tiempos. ES 2.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%H	144	0,98	0,97	7,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2152,5	15	1435,01	342,07	<0,0001
Tiempo (min)	21525,20	15	1435,01	342,07	<0,0001
Error	536,97	128	4,20	-	-
Total	22062,16	143	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,0338

Error: 4,1951 gl: 128

Tiempo (min)	Medias	n	E.E.											
0	53,47	9	0,68	A										
5	42,79	9	0,68		B									
10	41,34	9	0,68		B									
15	37,86	9	0,68			C								
20	34,51	9	0,68				D							
25	30,86	9	0,68					E						
30	28,17	9	0,68						F					
35	23,79	9	0,68							G				
40	20,57	9	0,68								H			

Error	131,40	16	8,21	-	-
Total	12217,06	23	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,4263

<i>Error: 8,2127 gl: 16</i>					
Humedad (%)	Medias	N	E.E		
7,1	44,31	12	0,83	A	
12,4	58,35	12	0,83		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,4263

<i>Error: 8,2127 gl: 16</i>					
Malla (mm)	Medias	n	E.E		
0,12	32,34	12	0,83	A	
0,25	70,31	12	0,83		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,4263

<i>Error: 8,2127 gl: 16</i>					
Dosificación (g/min)	Medias	n	E.E		
17	47,20	12	0,83	A	
30	55,46	12	0,83		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6608

<i>Error: 8,2127 gl: 16</i>						
Humedad (%)	Malla (mm)	Medias	n	E.E		
7,1	0,12	23,55	6	1,17	A	
12,4	0,12	41,14	6	1,17		B
7,1	0,25	65,07	6	1,17		C
12,4	0,25	75,55	6	1,17		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6608

<i>Error: 8,2127 gl: 16</i>						
Humedad (%)	Dosificación (g/min)	Medias	n	E.E		
7,1	30	44,10	6	1,17	A	
7,1	17	44,52	6	1,17	A	
12,4	30	50,30	6	1,17		B
12,4	17	66,39	6	1,17		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6608

<i>Error: 8,2127 gl: 16</i>						
Malla (mm)	Dosificación (g/min)	Medias	n	E.E		
0,12	30	21,17	6	1,17	A	
0,12	17	43,52	6	1,17		B
0,25	17	67,39	6	1,17		C
0,25	30	73,23	6	1,17		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=5,3773

Error: 8,2127 gl: 16

Humedad (%)	Malla (mm)	Dosificación (g/min)	Medias	n	E.E.						
7,1	0,12	30	19,23	3	1,65	A					
12,4	0,12	30	23,10	3	1,65	A					
7,1	0,12	17	27,86	3	1,65		B				
12,4	0,12	17	59,19	3	1,65			C			
7,1	0,25	17	61,17	3	1,65			C			
7,1	0,25	30	68,96	3	1,65				D		
12,4	0,25	17	73,60	3	1,65					E	
12,4	0,25	30	77,50	3	1,65						E

B. Rendimiento de la molienda de SP de quinoa.

Muestra	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	Rendimiento %	24	0,98	0,97	6,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3776,70	7	539,51	105,02	< 0,0001
Humedad (H %)	5,59	1	5,59	1,09	0,3125
Malla (M mm)	2121,39	1	2121,39	412,95	< 0,0001
Dosificación (D g/min)	5,57	1	5,57	1,08	0,3133
H%*M mm	1313,35	1	1313,35	255,66	< 0,0001
H%*D g/min	185,82	1	185,82	36,17	< 0,0001
M mm* D g/min	143,47	1	143,47	27,93	0,0001
H%*Mmm*D g/min	1,41	1	1,41	0,27	0,6074
Error	82,19	16	5,14	-	-
Total	3858,79	23	-	-	-

Error: 5,1371 gl:16

Humedad (%)	Media	N	E.E	
12,4	35,83	12	0,65	A
7,1	34,87	12	0,65	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Error: 5,1371 gl:16

Malla (mm)	Media	n	E.E	
0,25	44,75	12	0,65	A
0,12	25,95	12	0,65	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 5.10. Comparación en el contenido de grasas, proteínas y cenizas entre las SC y SP de quinoa empleadas en el ensayo de molienda.

Proteínas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Proteínas	12	0,02	0,00	5,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	1	0,13	0,17	0,6927
Tratamiento	0,13	1	0,13	0,17	0,6927
Error	7.74	10	0,77	-	-
Total	7,87	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,1319

Error: 0,7742 gl: 10

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
SP	16,90	6	0,36	A
SC	17,11	6	0,36	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Grasas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Grasas	12	0,01	0,00	8,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	1	0,03	0,08	0,7871
Tratamiento	0,03	1	0,03	0,08	0,7871
Error	3,39	10	0,34	-	-
Total	3,42	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7495

Error: 0,3394 gl: 10

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
SP	6,71	6	0,24	A
SC	6,80	6	0,24	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cenizas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Cenizas	12	0,65	0,62	3,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,12	1	0,12	18,94	0,0014
Tratamiento	0,12	1	0,12	18,94	0,0014
Error	0,06	10	0,01	-	-
Total	0,19	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1032

Error: 0,0064 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
SP	2,02	6	0,03	A
SC	2,22	6	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 5.11. A. Contenido de Proteínas. **B.** Grasas y **C.** Ceniza en las HC y HP obtenidas con RA, RM y RA.

A. Proteínas

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	%Proteínas	18	0,96	0,96	1,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,28	2	8,14	195,60	< 0,0001
Ensayo	16,28	2	8,14	195,60	< 0,0001
Error	0,62	15	0,04	-	-
Total	16,90	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,2643

Error: 0,0416 gl: 15

Ensayo	Medias	n	E.E.			
RM	16,00	6	0,08	A		
RB	17,02	6	0,08		B	
RA	18,32	6	0,08			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Grasas

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	Grasas	18	0,82	0,79	4,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,13	2	3,57	33,45	< 0,0001
Ensayo	7,13	2	3,57	33,45	< 0,0001
Error	1,60	15	0,11	-	-
Total	8,73	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4232

Error: 0,1067 gl: 15

Ensayo	Medias	n	E.E.			
RA	6,44	6	0,13	A		
RM	7,25	6	0,13		B	
RB	7,98	6	0,13			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

C. Cenizas

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	Cenizas	18	0,08	0,00	6,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,61	0,5549
Ensayo	0,02	2	0,01	0,61	0,5549
Error	0,24	15	0,01	-	-
Total	0,26	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1648

Error: 0,0162 gl: 15					
Ensayo	Medias	N	E.E.		
RM	2,02	6	0,05	A	
RA	2,07	6	0,05	A	
RB	2,10	6	0,05	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Harinas Precocidas

A. Proteínas.

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	%Proteínas	18	0,59	0,53	5,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	13,19	2	6,60	10,60	0,0014
Ensayo	13,19	2	6,60	10,60	0,0014
Error	9,33	15	-	-	-
Total	22,53	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,0222

Error: 0,6223 gl: 15					
Ensayo	Medias	n	E.E.		
RM	15,03	6	0,32	A	
RA	15,15	6	0,32	A	
RB	16,93	6	0,32		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Grasas

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	%Grasas	18	0,99	0,98	5,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	295,15	2	147,57	522,67	< 0,0001
Ensayo	295,15	2	147,57	522,67	< 0,0001
Error	4,243	15	0,28	-	-
Total	299,38	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,6885

Error: 0,2823 gl: 15					
Ensayo	Medias	N	E.E.		
RA	6,08	6	0,22	A	
RM	6,38	6	0,22	A	
RB	14,82	6	0,22		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

C. Cenizas

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	%Cenizas	18	0,42	0,34	8,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,33	2	0,16	5,37	0,0174
Ensayo	0,33	2	0,16	5,37	0,0174
Error	0,46	15	0,03	-	-
Total	0,78	17	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,2258

Error: 0,0304 gl: 15					
Ensayo	Medias	n	E.E.		
RA	1,98	6	0,07	A	
RB	2,25	6	0,07		B
RM	2,28	6	0,07		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A. Contenido de Proteínas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteínas	36	0,82	0,80	3,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46,83	5	9,37	28,22	< 0,0001
Ensayo	46,83	5	9,37	28,22	< 0,0001
Error	9,96	30	0,33	-	-
Total	56,79	35	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7174

Error: 0,3319 gl: 30							
Ensayo	Medias	N	E.E.				
HPr-RM	15,08	6	0,24	A			
HPr-RA	15,15	6	0,24	A			
HCr-RM	16,00	6	0,24		B		
HPr-RB	16,93	6	0,24			C	
HCr-RB	17,02	6	0,24			C	
HCr-RA	18,32	6	0,24				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Contenido de Grasas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grasas	36	0,98	0,98	5,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	333,68	5	66,74	343,12	< 0,0001
Ensayo	333,68	5	66,74	343,12	< 0,0001
Error	5,83	30	0,19	-	-

Total	339,51	35	-	-	-
-------	--------	----	---	---	---

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,5491

Error: 0,1945 gl: 30							
Ensayo	Medias	n	E.E.				
HPr-RA	6,08	6	0,18	A			
HPr-RM	6,38	6	0,18	A			
HCr-RA	6,44	6	0,18	A			
HCr-RM	7,25	6	0,18		B		
HCr-RB	7,98	6	0,18			C	
HPr-RB	14,84	6	0,18				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

C. Contenido de Cenizas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cenizas	36	0,39	0,29	7,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,45	5	0,09	3,85	0,0081
Ensayo	0,45	5	0,09	3,85	0,0081
Error	0,70	30	0,02	-	-
Total	1,75	35	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1899

Error: 0,0233 gl: 30							
Ensayo	Medias	n	E.E.				
HPr-RA	1,98	6	0,06	A			
HCr-RM	2,02	6	0,06	A			
HCr-RA	2,07	6	0,06	A			
HCr-RB	2,10	6	0,06	A			
HPr-RB	2,25	6	0,06			B	
HPr-RM	2,28	6	0,06				B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 5.12. Contenido de proteínas de HC de quinoa tamizadas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Proteínas	22	0,83	0,82	8,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	177,86	2	88,93	47,47	< 0,0001
Malla	177,86	2	88,93	47,47	< 0,0001
Error	35,60	19	1,87	-	-
Total	213,46	21	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,6141

Error: 1,8734 gl: 19							
Malla	Medias	n	E.E.				
Ciego	11,50	7	0,52	A			

200	16,34	8	0,48		B	
100	18,43	7	0,52			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 5.13. Contenido de cenizas de las HC de quinoa tamizadas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Cenizas	21	0,76	0,73	11,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,36	2	1,68	27,93	< 0,0001
Malla	3,36	2	1,68	27,93	< 0,0001
Error	1,08	18	0,06	-	-
Total	4,45	20	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,2894

Error: 0,0602 gl: 18

Malla	Medias	n	E.E.		
Ciego	1,50	7	0,09	A	
200	2,31	7	0,09		B
100	2,38	7	0,09		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 5.14.A. Parámetro L* en HC y HP de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda.

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	L*	69	0,57	0,52	0,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,15	7	2,88	11,56	< 0,0001
Ensayo	20,15	7	2,88	11,56	< 0,0001
Error	15,18	61	0,25	-	-
Total	35,33	68	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4906

Error: 0,2489 gl: 61

Ensayo	Medias	n	E.E.		
7	87,48	9	0,17	A	
8	87,83	9	0,17	A	
3	88,51	9	0,17		B
2	88,62	6	0,20		B
6	88,72	9	0,17		B
5	88,81	9	0,17		B
4	88,95	9	0,17		B
1	89,12	9	0,17		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

a*

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	a*	69	0,89	0,87	45,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2703,67	7	386,24	67,40	< 0,0001
Ensayo	2703,67	7	386,24	67,40	< 0,0001
Error	349,55	61	5,73	-	-
Total	3053,22	68	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,3539

Error: 5,7303 gl: 61

Ensayo	Medias	n	E.E			
1	-0,14	9	0,80	A		
5	-0,10	9	0,80	A		
4	-0,003	9	0,80	A		
3	0,10	9	0,80	A		
6	4,31	9	0,80		B	
2	12,81	6	0,98			C
8	13,77	9	0,80			C
7	14,03	9	0,80			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

b*

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	b*	69	0,86	0,85	31,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2345,54	7	335,08	55,07	< 0,0001
Ensayo	2345,54	7	335,08	55,07	< 0,0001
Error	371,15	61	6,08	-	-
Total	2716,69	68	-	-	-

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=2,4256

Error: 6,0844 gl: 61

Ensayo	Medias	n	E.E.			
2	-0,16	6	1,01	A		
8	0,18	9	0,82	A		
7	0,22	9	0,82	A		
6	8,92	9	0,82		B	
1	12,32	9	0,82			C
4	12,67	9	0,82			C
3	13,07	9	0,82			C
5	13,26	9	0,82			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

L*

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	L*	69	0,58	0,53	1,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	99,14	7	14,16	12,08	< 0,0001
Ensayo	99,14	7	14,16	12,08	< 0,0001
Error	71,50	61	1,17	-	-
Total	170,64	68	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=1,0646

Error: 1,1721 gl: 61

Ensayo	Medias	n	E.E.			
3	80,17	9	0,36	A		
4	81,16	11	0,33	A		
1	82,18	8	0,38		B	
8	82,85	9	0,36		B	
2	83,11	7	0,41		B	
6	83,29	9	0,36		B	
7	83,51	9	0,36		B	
5	84,80	7	0,41			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

a*

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	a*	69	0,55	0,50	146,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,89	7	0,13	10,59	< 0,0001
Ensayo	0,89	7	0,13	10,59	< 0,0001
Error	0,73	61	0,01	-	-
Total	1,62	68	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1075

Error: 0,0120 gl: 61

Ensayo	Medias	n	E.E.			
5	-0,16	7	0,04	A		
6	0,01	9	0,04		B	
7	0,03	9	0,04		B	
2	0,04	7	0,04		B	
1	0,06	8	0,04		B	
8	0,07	9	0,04		B	
3	0,19	9	0,04			C
4	0,25	11	0,03			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

b*

TRATAMIENTO	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	b*	69	0,71	0,67	2,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29,09	7	4,16	21,04	< 0,0001
Ensayo	29,09	7	4,14	21,04	< 0,0001
Error	12,05	0,20	-	-	-
Total	41,15	-	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4371

Error: 0,1976 gl: 61

Ensayo	Medias	n	E.E.				
5	16,19	7	0,17	A			
7	16,87	9	0,15		B		
6	17,32	9	0,15			C	
8	17,78	9	0,15				D
2	17,82	7	0,17				D
1	18,07	8	0,16				D
4	18,19	11	0,13				D
3	18,23	9	0,15				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 5.15. Contenido de almidón dañado en las HC de quinoa obtenidas bajo diferentes condiciones de molienda.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AD (%)	38	0,70	0,63	7,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	277,59	7	39,66	10,19	< 0,0001
Ensayo	277,59	7	39,66	10,19	< 0,0001
Error	116,76	30	-	-	-
Total	394,36	37	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=2,6901

Error: 3,8921 gl: 30

Ensayo	Medias	n	E.E.			
6	23,56	7	0,75	A		
1	24,61	4	0,99	A		
2	25,14	4	0,99	A		
5	25,74	5	0,88	A		
4	26,66	4	0,99	A		
3	26,80	4	0,99	A		
8	27,78	5	0,88	A		
7	32,56	5	0,88			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXOS

Capítulo 6

Tabla 6.9. ARL en HC y HP de quinoa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% ARL	30	0,98	0,97	13,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	161,08	9	17,90	121,99	< 0,0001
Lote	21,89	4	5,47	37,30	< 0,0001
Tratamiento	124,60	1	124,60	849,30	< 0,0001
Lote*Tratamiento	14,59	4	3,65	24,86	< 0,0001
Error	2,93	20	0,15	-	-
Total	164,02	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4821

Error: 0,1467 gl:20

Lote	Medias	n	E.E			
2007	1,86	6	0,16	A		
2008	2,04	6	0,16	A		
2009	2,61	6	0,16		B	
2011	3,59	6	0,16			C
2010	4,04	6	0,16			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,2865

Error: 0,1467 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E			
HP	0,79	15	0,10	A		
HC	4,86	15	0,10			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7054

Error: 0,1467 gl:20

Lote	Tratamiento	Medias	n	E.E			
2007	HP	0,63	3	0,22	A		
2008	HP	0,67	3	0,22	A		
2011	HP	0,70	3	0,22	A		
2009	HP	0,70	3	0,22	A		
2010	HP	1,23	3	0,22	A		
2007	HC	3,09	3	0,22		B	
2008	HC	3,41	3	0,22		B	
2009	HC	4,51	3	0,22			C
2011	HC	6,47	3	0,22			D
2010	HC	6,84	3	0,22			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 6.11. Contenido de glucosa en HC y HP de quinoa.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
g de glucosa/100 g de hari..	60	0,93	0,92	29,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27,19	9	3,02	72,31	< 0,0001
Lote	5,90	4	1,48	35,30	< 0,0001
Tratamiento	17,38	1	17,38	15,87	< 0,0001
Lote*Tratamiento	3,91	4	0,98	23,42	< 0,0001
Error	2,09	50	0,04	-	-
Total	29,28	59	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1746

Error: 0,0418 gl: 50

Lote	Medias	n	E.E		
2008	0,37	12	0,06	A	
2009	0,47	12	0,06	A	
2007	0,48	12	0,06	A	
2011	1,00	12	0,06		B
2010	1,14	12	0,06		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1057

Error: 0,0418 gl: 50

Tratamiento	Medias	n	E.E		
HP	0,15	30	0,04	A	
HC	1,23	30	0,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,2499

Error: 0,0418 gl: 50

Lote	Tratamiento	Medias	n	E.E.			
2008	HP	0,07	6	0,08	A		
2009	HP	0,09	6	0,08	A		
2007	HP	0,16	6	0,08	A		
2011	HP	0,20	6	0,08	A		
2010	HP	0,24	6	0,08	A		
2008	HC	0,66	6	0,08		B	
2007	HC	0,80	6	0,08		B	
2009	HC	0,85	6	0,08		B	
2011	HC	1,79	6	0,08			C
2010	HC	2,04	6	0,08			C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Tabla 6.12.** Contenido de amilosa en las HC de quinoa.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Amilosa	10	0,98	0,97	3,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70,45	4	17,61	74,23	0,0001
%Amilosa	70,45	4	17,61	74,23	0,0001
Error	1,19	5	0,24	-	-
Total	71,63	9	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,01 PCALT=2,1382

<i>Error: 0,2373 gl: 5</i>						
%Amilosa	Medias	n	E.E			
2008	7,84	2	0,34	A		
2007	12,06	2	0,34		B	
2010	13,34	2	0,34			C
2011	14,34	2	0,34			C
2009	15,55	2	0,34			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Tabla 6.13. Propiedades de *pasting* de los almidones.

Peak 1

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	Peak 1	8	0,99	0,98	11,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1216276,38	3	405425,46	92,92	0,0004
Tratamiento	1216276,38	3	405425,46	92,92	0,0004
Error	17452,50	4	4363,12	-	-
Total	1233728,88	7		-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=212,2375

<i>Error: 4363,1250 gl: 4</i>						
Tratamiento	Medias	N	E.E			
HPD	142,00	2	46,71	A		
HP	184,50	2	46,71	A		
HCD	941,00	2	46,71			B
HC	944,00	2	46,71			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Final Visc

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	Final Visc	8	0,98	0,96	14,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2225912,38	3	741970,79	54,89	0,0010
Tratamiento	2225912,38	3	741970,79	54,89	0,0010
Error	54071,50	4	13517,88	-	-
Total	2279983,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=373,5748

<i>Error: 13517,8750 gl: 4</i>						
--------------------------------	--	--	--	--	--	--

Tratamiento	Medias	n	E.E		
HPD	240,50	2	82,21	A	
HP	294,50	2	82,21	A	
HC	1316,50	2	82,21		B
HCD	1327,00	2	82,21		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BD

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	BD	8	0,90	0,83	27,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8616,38	3	2872,13	12,62	0,0166
Tratamiento	8616,38	3	2872,13	12,62	0,0166
Error	910,50	4	227,63	-	-
Total	9526,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=48,4767

Error: 227,6250 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E		
HPD	17,00	2	10,67	A	
HP	28,00	2	10,67	A	
HC	82,00	2	10,67		B
HCD	92,50	2	10,67		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

SB

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	SB	8	0,94	0,90	20,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	242430,38	3	80810,13	22,30	0,0059
Tratamiento	242430,38	3	80810,13	22,30	0,0059
Error	14497,50	4	3624,38	-	-
Total	256927,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=193,4372

Error: 3624,3750 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HPD	115,50	2	42,57	A	
HP	138,00	2	42,577	A	
HC	470,50	2	42,57		B
HCD	478,50	2	42,57		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak Time

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	Peak Time	8	0,39	0,00	1,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	3	0,01	0,84	0,5394
Tratamiento	0,02	3	0,01	0,84	0,5394
Error	0,04	4	0,01	-	-
Total	0,06	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,3169

Error: 0,0097 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HC	6,87	2	0,07	A	
HP	6,87	2	0,07	A	
HPD	7,00	2	0,07	A	B
HCD	7,00	2	0,07	A	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Peak 1

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	Peak 1	8	1,00	1,00	3,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	1670949,00	3	556983,00	957,43	<0,0001
Tratamiento	1670949,00	3	556983,00	957,43	<0,0001
Error	2327,00	4	581,75	-	-
Total	1673276,00	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=77,4982

Error: 581,7500 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
HC	949,00	2	17,06			C
HP	131,00	2	17,06	A		
HPD	212,50	2	17,06		B	
HCD	1187,50	2	17,06			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Final Visc

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	Final Visc	8	1,00	1,00	3,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	3267880,38	3	1089293,46	1236,60	<0,0001
Tratamiento	3267880,38	3	1089293,46	1236,60	<0,0001
Error	3523,50	4	880,88	-	-
Total	3271403,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=95,3631

Error: 880,8750 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
HC	1324,50	2	20,99			C
HP	190,00	2	20,99	A		

HPD	310,50	2	20,99		B		
HCD	1677,50	2	20,99				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BD

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	BD	8	0,98	0,97	15,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21282,00	3	7094,00	67,89	0,0007
Tratamiento	21282,00	3	7094,00	67,89	0,0007
Error	418,00	4	104,50	-	-
Total	21700,00	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=32,8459

Error: 104,5000 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E			
HP	16,50	2	7,23	A		
HPD	29,50	2	7,23	A		
HC	73,50	2	7,23		B	
HCD	148,50	2	7,23			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

SB

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	SB	8	1,00	1,00	3,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	429784,38	3	143261,46	1082,24	<0,0001
Tratamiento	429784,38	3	143261,46	1082,24	<0,0001
Error	529,50	4	132,37	-	-
Total	430313,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=36,9680

Error: 132,3750 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E				
HP	75,50	2	8,14	A			
HPD	127,50	2	8,14		B		
HC	449,00	2	8,14			C	
HCD	638,50	2	8,14				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak Time

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	Peak Time	8	0,43	0,00	0,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
-----	----	----	----	---	---------

Modelo	0,0018	3	0,0006	1,00	0,4789
Tratamiento	0,0018	3	0,0006	1,00	0,4789
Error	0,00025	4	0,00061	-	-
Total	0,0043	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0795

Error: 0,0006 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
HC	6,97	2	0,02	A
HPD	7,00	2	0,02	A
HP	7,00	2	0,02	A
HCD	7,00	2	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak 1

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	Peak 1	8	1,00	1,00	1,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4095073,38	3	1365024,46	14579,70	<0,0001
Tratamiento	4095073,38	3	1365024,46	14579,70	<0,0001
Error	374,50	4	93,62	-	-
Total	4095447,88	7			

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=31,0899

Error: 93,6250 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	100,50	2	6,84	A	
HPD	129,00	2	6,84	A	
HC	1288,00	2	6,84		B
HCD	1733,00	2	6,84		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Final Visc

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	Final Visc	8	1,00	1,00	3,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	6653620,38	3	2217873,46	1402,28	<0,0001
Tratamiento	6653620,38	3	2217873,46	1402,28	<0,0001
Error	6326,50	4	1581,62	-	-
Total	6659946,88	7			

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=127,7836

Tratamiento	Medias	N	E.E.		
HP	150,00	2	28,12	A	
HPD	245,00	2	28,12	A	
HC	1757,50	2	28,12		B
HCD	2223,00	2	28,12		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BD

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	BD	8	1,00	1,00	5,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	90572,00	3	30190,67	958,43	<0,0001
Tratamiento	90572,00	3	30190,67	958,43	<0,0001
Error	126,00	4	31,50	-	-
Total	90698,00	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=18,0334

Error: 31,5000 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
HP	12,50	2	3,97	A		
HPD	17,50	2	3,97	A		
HC	108,50	2	3,97		B	
HCD	275,50	2	3,97			C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***SB**

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	SB	8	1,00	1,00	2,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	S.C.	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	752643,38	3	250881,13	2237,51	<0,0001
Tratamiento	752643,38	3	250881,13	2237,51	<0,0001
Error	448,50	4	112,13	-	-
Total	753091,88	7		-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=34,0232

Error: 112,1250 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
HP	62,00	2	7,49	A		
HPD	84,00	2	7,49		B	
HC	578,00	2	7,49		B	
HCD	765,50	2	7,49			C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Peak Time**

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	Peak Time	8	0,99	0,99	0,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,15	3	0,05	256,00	0,0001
Tratamiento	0,15	3	0,05	256,00	0,0001
Error	0,0008	4	0,0002	-	-
Total	0,15	7		-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0454

Error: 0,0002 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HC	6,68	2	0,01	A	
HPD	7,00	2	0,01		B
HP	7,00	2	0,01		B
HCD	7,00	2	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak 1

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	Peak 1	8	1,00	0,99	4,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1746608,38	3	582202,79	338,37	<0,0001
Tratamiento	1746608,38	3	582202,79	338,37	<0,0001
Error	6882,50	4	1720,62	-	-
Total	1753490,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=133,2804

Error: 1720,6250 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.				
HP	343,00	2	29,33	A			
HPD	596,50	2	29,33		B		
HC	852,00	2	29,33			C	
HCD	1593,00	2	29,33				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Final Visc

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	Final Visc	8	1,00	0,99	5,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	3149902,38	3	1049967,46	292,48	<0,0001
Tratamiento	3149902,38	3	1049967,46	292,48	<0,0001
Error	14359,50	4	3589,87	-	-
Total	3164261,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=192,5143

Error: 3589,8750 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.				
HP	466,50	2	42,37	A			
HPD	641,50	2	42,37	A			
HC	1184,50	2	42,37		B		
HCD	2078,00	2	42,37				C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BD

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	BD	8	0,98	0,97	16,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	58199,38	3	19399,79	75,74	0,0006
Tratamiento	58199,38	3	19399,79	75,74	0,0006
Error	1024,50	4	256,12	-	-
Total	59223,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=51,4220

Error: 256,1250 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
HP	26,00	2	11,32	A		
HPD	30,50	2	11,32	A		
HC	105,00	2	11,32		B	
HCD	237,00	2	11,32			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

SB

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	SB	8	1,00	0,99	5,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	469441,00	3	156480,33	418,12	<0,0001
Tratamiento	469441,00	3	156480,33	418,12	<0,0001
Error	1497,004,25	4	37	-	-
Total	470938,00	6	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=62,1590

Error: 374,2500 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
HPD	129,00	2	13,68	A		
HP	149,50	2	13,68	A		
HC	437,50	2	13,68		B	
HCD	722,00	2	13,68			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak Time

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	Peak Time	8	0,43	0,00	0,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,0018	3	0,00061	1,00	0,4789
Tratamiento	0,0018	3	0,00061	1,00	0,4789
Error	0,0025	4	0,00061	-	-
Total	0,0043	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0795

Error: 0,0006 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
HPD	6,97	2	0,02	A
HP	7,00	2	0,02	A
HCD	7,00	2	0,02	A
HC	7,00	2	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak 1

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	Peak 1	8	0,99	0,98	10,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1618447,00	3	539482,33	136,71	0,0002
Tratamiento	1618447,00	3	539482,33	136,71	0,0002
Error	15785,00	4	3946,25	-	-
Total	1634232,00	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=201,8439

Error: 3946,2500 gl: 4

Tratamiento	Medias	N	E.E		
HP	112,00	2	44,42	A	
HPD	150,00	2	44,42	A	
HC	936,50	2	44,42		B
HCD	1107,50	2	44,42		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Final Visc

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	Final Visc	8	0,99	0,98	10,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2900156,38	3	966718,79	129,33	0,0002
Tratamiento	2900156,38	3	966718,79	129,33	0,0002
Error	29898,50	4	7474,62	-	-
Total	2930054,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=277,7909

Error: 7474,6250 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E		
HP	178,00	2	61,13	A	
HPD	236,50	2	61,13	A	
HC	1293,00	2	61,13		B
HCD	1509,00	2	61,13		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BD

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	BD	8	0,98	0,97	13,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16863,00	3	5621,00	80,01	0,0005
Tratamiento	16863,00	3	5621,00	80,01	0,0005
Error	281,00	4	70,25		

Total	17144,00	7			
-------	----------	---	--	--	--

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=26,9306

Error: 70,2500 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	13,50	2	5,93	A	
HC	19,00	2	5,93	A	
HC	91,50	2	5,93		B
HCD	120,00	2	5,93		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

SB

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	SB	8	0,99	0,98	10,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	313798,38	3	104599,46	113,40	0,0003
Tratamiento	313798,38	3	104599,46	113,40	0,0003
Error	3689,50	4	922,38	-	-
Total	317487,88	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=97,5837

Error: 922,3750 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	79,50	2	21,48	A	
HPD	105,50	2	21,48	A	
HC	448,00	2	21,48		B
HCD	521,50	2	21,48		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peak Time

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	Peak Time	8	0,43	0,00	0,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,0018	3	0,00061	1,00	0,4789
Tratamiento	0,0018	3	0,00061	1,00	0,4789
Error	0,0025	4	0,00061	-	-
Total	0,00043	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0795

Error: 0,0006 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	6,97	2	0,02	A	
HPD	7,00	2	0,02	A	
HCD	7,00	2	0,02	A	
HC	7,00	2	0,02	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 6.6. Efecto del Lote sobre el contenido de PFT en HC y HP de quinoa.

TRATAMIENTO Variable N R² R² Aj CV
HCR MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI.. 30 0,98 0,97 5,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	458281,86	4	114570,46	252,03	<0,0001
Lote	458281,86	4	114570,46	252,03	<0,0001
Error	11364,54	25	454,58	-	-
Total	469646,40	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=26,8351

Error: 454,5816 gl: 25

Lote	Medias	n	E.E.			
2011	210,13	6	8,70	A		
2010	322,52	6	8,70		B	
2007	460,88	6	8,70			C
2008	498,39	6	8,70			D
2009	545,67	6	8,70			E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

TRATAMIENTO Variable N R² R² Aj CV
HPR MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI.. 30 1,00 1,00 0,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Moelo	339114,54	4	84778,63	10340,12	<0,0001
Lote	339114,54	4	84778,63	10340,12	<0,0001
Error	204,97	25	8,20	-	-
Total	339319,51	29	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6039

Error: 8,1990 gl: 25

Lote	Medias	n	E.E.			
2011	147,02	6	1,17	A		
2010	259,69	6	1,17		B	
2007	357,10	6	1,17			C
2008	358,19	6	1,17			C
2009	462,04	6	1,17			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOTE Variable N R² R² Aj CV
2007 MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI.. 12 1,00 1,00 0,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32311,90	1	32311,9	3093,41	<0,0001
Tratamiento	32311,90	1	32311,90	3093,41	<0,0001
Error	104,45	10	10,45	-	-
Total	32416,36	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=4,1576

Error: 10,4454 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.		

HP	357,10	6	1,32	A	
HC	460,88	6	1,32		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI..	12	0,85	0,83	7,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58965,32	1	58965,32	55,56	<0,0001
Tratamiento	58965,32	1	58965,32	55,56	<0,0001
Error	10613,51	10	1061,35	-	-
Total	69578,82	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=41,9094

Error: 1061,3507 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	358,19	6	13,30	A	
HC	498,39	6	13,30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI..	12	0,99	0,99	0,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20982,77	1	20982,77	1671,15	<0,0001
Tratamiento	20982,77	1	20982,77	1671,15	<0,0001
Error	125,56	10	12,56	-	-
Total	21108,33	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=4,5583

Error: 12,5559 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	462,04	6	1,45	A	
HC	545,67	6	1,45		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2010	MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI..	12	0,99	0,99	1,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11841,57	1	11841,57	1320,43	<0,0001
Tratamiento	11841,57	1	11841,57	1320,43	<0,0001
Error	89,68	10	8,97	-	-
Total	11931,25	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=3,8524

Error: 8,9680 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	259,69	6	1,22	A	
HC	322,52	6	1,22		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOTE	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2011	MG ÁCIDO GÁLICO/100 G HARI..	12	0,95	0,94	4,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11947,35	1	11947,35	187,76	<0,0001
Tratamiento	11947,35	1	11947,35	187,76	<0,0001
Error	636,32	10	63,63	-	-
Total	12583,67	11	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=10,2617

Error: 63,6315gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	147,02	6	3,26	A	
HC	210,13	6	3,26		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 6.9. Efecto del Tratamiento (HC vs. HP) sobre el contenido de PC

Muestra	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	mg Carotenos/100 g de hari..	20	0,79	0,73	10,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,32	4	0,08	14,08	0,0001
Lote	0,32	4	0,08	14,08	0,0001
Error	0,08	15	0,01	-	-
Total	0,40	19	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1215

Error: 0,0056 gl: 15

Lote	Medias	n	E.E.			
2011	0,53	4	0,4	A		
2007	0,62	4	0,04	A		
2009	0,70	4	0,04		B	
2010	0,77	4	0,04		B	
2008	0,90	4	0,04			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Muestra	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HP	mg Carotenos/100 g de hari..	20	0,56	0,44	10,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	4,71	0,0116
Lote	0,03	4	0,01	4,71	0,0116
Error	0,02	15	0,0014	-	-
Total	0,05	19	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0596

Error: 0,0014 gl: 15

Lote	Medias	n	E.E.		

2011	0,31	4	0,02	A	
2008	0,34	4	0,02	A	
2009	0,36	4	0,03	A	
2007	0,39	4	0,02		B
2010	0,41	4	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2007	mg Carotenos/100 g de hari..	8	0,80	0,76	13,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,11		0,11	23,36	0,0029
Muestra	0,11	1	0,11	23,36	0,0029
Error	0,03	15	0,0048	-	-
Total	0,14	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1202

Error: 0,0048 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	0,39	4	0,03	A	
HC	0,62	4	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2008	mg Carotenos/100 g de hari..	8	0,96	0,95	10,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,63	1	0,63	137,02	<0,0001
Muestra	0,63	1	0,63	137,02	<0,0001
Error	0,03	6	0,0046	-	-
Total	0,66	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1174

Error: 0,0046 gl: 6

Tratamiento	Medias	N	E.E.		
HP	0,34	4	0,03	A	
HC	0,90	4	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2009	mg Carotenos/100 g de hari..	8	0,85	0,82	15,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,23	1	0,23	32,87	0,0012
Muestra	0,23	1	0,23	32,87	0,0012
Error	0,04	6	0,01	-	-
Total	0,27	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1451

Error: 0,0070 gl: 6

Tratamiento	Medias	N	E.E.		
HP	0,36	4	0,04	A	
HC	0,70	4	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Lote Variable N R² R² Aj CV
 2010 mg Carotenos/100 g de hari.. 8 0,99 0,99 3,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,26	1	0,26	493,71	<0,0001
Muestra	0,26	1	0,26	493,71	<0,0001
Error	0,0031	6	0,00052	-	-
Total	0,26	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0396

Error: 0,0005 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	0,41	4	0,01	A	
HC	0,77	4	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

2011 mg Carotenos/100 g de hari.. 8 0,97 0,97 5,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,10	1	0,10	231,06	<0,0001
Muestra	0,10	1	0,10	231,06	<0,0001
Error	0,0026	6	0,00044	-	-
Total	010	7	-	-	-

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0363

Error: 0,0004 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
HP	0,11	4	0,01	A	
HC	0,53	4	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)