



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE PROCESOS DE ALIMENTOS

DESARROLLO DE PRODUCTO SNACK A BASE DE MATERIAS PRIMAS NO CONVENCIONALES

Poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)

Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos

LUIS ANTONIO CALISTO GUZMÁN

PATROCINANTE:

Prof. Ing. Mg. Eduardo Castro M.
Departamento de Ciencia de los Alimentos y
Tecnología Química
Universidad de Chile.

DIRECTORES:

Prof. Dra. Paz Robert C.
Departamento de Ciencia de los Alimentos y
Tecnología Química
Universidad de Chile.
Prof. Ing. Mg. Eduardo Castro M.
Departamento de Ciencia de los Alimentos y
Tecnología Química
Universidad de Chile.

Santiago, Chile
2009

DEDICATORIA

Dedicado a mis queridos padres...

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, por su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis grandes amigos, que siempre me han acompañado.

A todos mis compañeros y profesores, por la educación y sabiduría brindada.

Un muy especial agradecimiento a Chile y su gente, por acogerme estos maravillosos siete años.

Si al franquear una montaña en la dirección de una estrella, el viajero se deja absorber demasiado por los problemas de la escalada, se arriesga a olvidar cual es la estrella que lo guía.

Antoine de Saint-Exupery

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	i
ÍNDICE GENERAL.....	iii-iv
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	v-vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	ix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes generales.....	1
1.2. Antecedentes de la quinua.....	3
1.3. Antecedentes del poroto rojo.....	5
1.4. Antecedentes de la miel de abeja.....	6
1.5. Antecedentes de cereales en barra.....	7
1.5.1. Definición.....	7
1.5.2. Características técnicas.....	7
1.5.3. Situación mundial.....	9
1.5.4. Situación nacional.....	10
1.5.5. Marketing actual.....	11
1.6. Hipótesis planteada.....	12
1.7. Objetivos.....	12
1.7.1. Objetivo general.....	12
1.7.2. Objetivos específicos.....	12
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1. Materiales y Equipos.....	14
2.1.1. Materias primas y aditivos.....	14
2.1.2. Equipos y utensilios de producción.....	14

	Página
2.1.3. Equipos de análisis.....	15
2.2. Métodos.....	16
2.2.1. Tratamiento de la quinua.....	16
2.2.2. Tratamiento del poroto rojo.....	17
2.2.3. Ensayos preliminares y variables de proceso.....	18
2.2.4. Saborización.....	18
2.2.5. Definición de la fórmula final.....	19
2.2.5.1. Análisis instrumental de textura.....	20
2.2.6. Análisis de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.....	22
2.2.6.1. Método de extracción.....	22
2.2.6.2. Determinación de compuestos fenólicos.....	22
2.2.6.3. Determinación de actividad antioxidante.....	23
2.2.7. Análisis proximal.....	24
2.2.8. Estudio acelerado de cambios de textura y actividad de agua.....	25
2.2.9. Análisis sensorial.....	26
2.2.10. Análisis estadístico.....	26
CAPÍTULO III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	27
3.1. Tratamiento de la quinua.....	27
3.2. Tratamiento del poroto rojo.....	28
3.3. Ensayos preliminares y variables de proceso.....	30
3.4. Definición de la fórmula final.....	33
3.5. Análisis de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.....	38
3.5.1. Compuestos fenólicos.....	38
3.5.2. Actividad antioxidante.....	40
3.6. Análisis proximal.....	42
3.7. Estudio acelerado de cambios de textura y actividad de agua....	45
3.8. Análisis sensorial.....	48
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	51
CAPÍTULO V. REFERENCIAS.....	53
CAPÍTULO VI. ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Página
Tabla 1: Composición proximal de la quinua en 100 gramos de porción comestible.....	4
Tabla 2: Composición química de porotos comunes (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)..	5
Tabla 3: Trabajos revisados en formulaciones de barras de cereal.....	18
Tabla 4: Set de ensayos 1. Estudio de la relación glucosa / miel de abeja en la fase aglutinante (<i>Binder</i>) en la barra de poroto y quinua.....	20
Tabla 5: Set de ensayos 2. Estudio de la proporción de mezcla seca (<i>Dry Mix</i>) / fase aglutinante (<i>Binder</i>) en la formulación de la barra de poroto y quinua.....	20
Tabla 6: Rendimientos del procesamiento de los porotos.....	29
Tabla 7: Formulación base para la saborización y posterior optimización....	31
Tabla 8: Resultados del análisis de textura para el set de ensayos 1.....	33
Tabla 9: Resultados del análisis de textura para el set de ensayos 2.....	35
Tabla 10: Relación entre porcentaje de <i>Dry Mix</i> y textura de la barra.....	36
Tabla 11: Formulación final del producto.....	37
Tabla 12: Contenido de compuestos fenólicos.....	38
Tabla 13: Actividad antioxidante expresada como IC ₅₀	40
Tabla 14: Resultados de análisis proximal a barra de quinua y poroto.....	42
Tabla 15: Información nutricional de barra de poroto y quinua.....	43
Tabla 16: Puntaje de la proteína de la barra de quinua y poroto en relación a los requerimientos de aminoácidos y proteínas para escolares y adultos.....	44
Tabla 17: Puntaje promedio obtenido en la evaluación de barra.....	48
Tabla 18: Porcentajes de aceptación respectiva por atributo.....	48
Tabla 19: Resultados preguntas abiertas de evaluación de barra.....	49

	Página
Figura 1: Diagrama de bloque para la elaboración de la barra de quinua y poroto.....	32
Figura 2: Perfil del estudio de textura para el set de ensayos 1.....	33
Figura 3: Perfil del estudio de textura para el set de ensayos 2.....	35
Figura 4: Relación polinomial entre la textura de la barra y la proporción de <i>Dry Mix</i>	36
Figura 5: Actividad antioxidante expresada como decoloración de la solución de DPPH.....	40
Figura 6: Análisis de actividad de agua (a_w) en el tiempo de almacenamiento (días) a 37 °C.....	46
Figura 7: Análisis de textura (N) durante el tiempo de almacenamiento (días) a 37 °C.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Esquema de germinador de porotos realizado en laboratorio.....	57
Anexo 2: Diagrama de bloque del tratamiento realizado a la quinua.....	58
Anexo 3: Diagrama de bloque del tratamiento realizado al los porotos.....	59
Anexo 4: Formulaciones de las muestras para el set de ensayos 1.....	60
Anexo 5: Formulaciones de las muestras para el set de ensayos 2.....	61
Anexo 6: Comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes para el set de ensayos 1.....	62
Anexo 7: Comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes para el set de ensayos 2.....	63
Anexo 8: Ficha de evaluación sensorial.....	64
Anexo 9: Cálculo detallado del contenido fenólico.....	65
Anexo 10: Cálculo detallado de la actividad antioxidante.....	66
Anexo 11: Cálculo teórico del perfil de aminoácidos de la proteína en la barra de quinua y poroto.....	69
Anexo 12: Cálculo del índice de calidad de la proteína de la barra de poroto y quinua, e ingesta de proteína de producto requerida.....	71
Anexo 13: Estudio acelerado de cambios de textura y actividad de agua.....	72

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un producto alimenticio en barra de alto valor nutricional, adecuado aporte calórico y que contenga compuestos antioxidantes; a base de quinua, porotos y miel de abeja; con buenas características reológicas y sin presentar factores anti nutricionales o indeseables que puedan presentar en forma natural las materias primas.

El tratamiento de la quinua se basó en remojo, con posterior lavado y enjuague final. Luego se sometió la quinua a tratamiento térmico en agua a ebullición durante 6 minutos y finalmente se secó en estufa hasta una humedad de 15%. Finalmente se realizó una molienda gruesa en el procesador de alimentos. Por otro lado, el tratamiento de los porotos se basó en remojarlos y lavarlos antes de ser germinados durante 4 días en oscuridad. A continuación fueron enjuagados y autoclavados durante 20 minutos a 121°C. Después de una molienda gruesa se secaron los porotos hasta una humedad de 6%, finalmente se molieron y usaron en la formulación del producto.

La definición de la formulación se realizó en base a su textura (fuerza máxima en celda de Kramer), mediante comparación con un patrón adquirido en el mercado. Las variables definidas en el producto fueron: la relación de glucosa / miel de abeja (0,8:0,2) y la proporción de mezcla seca / mezcla ligante (1,66:1,0).

El producto presentó buenas propiedades antioxidantes (contenido fenólico de 1,103 ±0,096 mg EAG/g e IC₅₀ de 129,2 ±1,7 mg/mL) las cuales pueden ser mejoradas optimizando el proceso de germinación de los porotos y el secado de la quinua para minimizar pérdidas de compuestos funcionales. El producto presentó buenas características nutricionales (proteína: 13,1 ±1,27; H.C.: 67,6; lípidos: 5,0 ±0,08 g/100g y energía: 368,2 Kcal/100g). El índice de calidad proteínica de la barra para escolares fue de 77,1% y para adultos de 75,6%, con la metionina como aminoácido limitante. En la evaluación sensorial del producto se obtuvo un puntaje promedio de 5,2 (escala hedónica del 1 al 7) de todas las propiedades evaluadas, lo cual corresponde al intervalo de aceptación, además no se detectaron sensorialmente compuestos indeseables. Futuras optimizaciones sensoriales del producto deben ser realizadas.

Con este trabajo se concluye que la quinua y el poroto tienen un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos y presentan una real oportunidad de aportar a la nutrición y bienestar de poblaciones en América Latina.

SUMMARY

“Development of a snack product using non conventional raw material”

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)

The aim of the current study was to develop a high nutritional bar product using traditional crops (quinoa and beans) and honey, which contribute with good nutritional characteristics, in addition to antioxidant content; showing good organoleptic and rheological properties, and absence of antinutritional or undesirables components that could be inherent in the raw ingredients.

The quinoa treatment was based in soaking, washing and the rinsing of the grain. Then, the quinoa was cooked under boiling water during 6 minutes, and finally dried off in stove until 15% humidity. Prior to the use in the formulation, the quinoa was grounded in a lab mill. The treatment of the beans consisted in soaking and washing steps before they were germinated for 4 days in absence of light. Then, the seeds were rinsed and autoclaved at 121 °C for 20 minutes. The beans were then grounded in a lab mill before they were dried to 6% humidity. Finally, they were grounded again and used in the product formulation. The product optimization was based on its texture (peak force on Kramer’s cell) through a pattern comparison which was acquired in the free market. The variables optimized were the glucose / honey proportion (0,8:0,2) and the Dry Mix / Binder proportion (1,66:1,0). The final product had good antioxidant properties (phenolic content of 1,103 ±0,096 mg EAG/g and IC₅₀ of 129,2 ±1,7 mg/mL) which could be improved through an optimization of the bean’s germination and quinoa’s processes to avoid losses on the functional components. The product presented good nutritional properties (protein: 13,1 ±1,27; H.C.: 67,6; lipids: 5,0 ±0,08 g/100g and energy: 368,2 Kcal/100g). The protein quality index of the product was 77,1% for children and 75,6% for adults. The sensory analysis of the product showed an average score of 5,2 (based on hedonic scale from 1 to 7) among all the properties evaluated, being within the acceptance range, in addition no undesirable components or antinutritional factors were detected in the sensory analysis. Further sensory optimizations could improve the sensory characteristics of the product.

The conclusion of this study confirms that the quinoa and the beans have great potential in order to develop high nutritional products, and this presents a real opportunity to contribute to Latin America nutrition and wellbeing.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, con la urbanización de la región, se está incrementando la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles (cardiopatías o enfermedades degenerativas) y obesidad, asociadas con el consumo de alimentos densamente energéticos y de bajo valor nutritivo (Indualimentos, 2007).

Así mismo, los países industrializados están enfrentando actualmente, entre otros, tres desafíos importantes: el adecuado control del costo de salud en la sociedad, el ofrecimiento a la población adulta de una oportunidad real de vivir no solo más, sino que mejor y por último, proveer a los consumidores cada vez más ocupados una opción de alimentos procesados saludables o listos para el consumo (alimentos *ready-to-eat*) (Dutcosky y cols., 2006).

Por lo anterior, es necesario mejorar la accesibilidad de los nutrientes bioactivos por medio de alimentos tradicionales brindando al consumidor una mayor variedad de alimentos funcionales. El desarrollo de estos últimos, es una oportunidad única de contribuir con la mejora en la calidad de alimentos, además de la salud y bienestar de los consumidores (Indualimentos, 2007; Dutcosky y cols., 2006).

En este contexto, desde hace algún tiempo, se promueve el consumo de barras de cereales como alternativas saludables y nutritivas de alimentación. Ciertamente, esta oferta se ubica en un amplio campo de productos que buscan aportar nuevas alternativas de consumo orientadas a grupos de personas que privilegian hábitos y conductas saludables. En efecto los *snack* saludables se han vuelto parte de la rutina de estudiantes, ejecutivos y en general de todo quien carece de tiempo para alimentarse de forma adecuada. Este segmento de la población está en el rango de edades de 10-60 años y manifiesta interés por incluir en su dieta alimentos que promuevan su salud (SERNAC, 2003; Coronil, 2006).

1.1. Antecedentes generales

Actualmente nutriólogos y tecnólogos de alimentos se han dado a la tarea de conocer la posible contribución de los alimentos o de sus componentes, en la intervención de algunos procesos fisiológicos y de evaluar el beneficio funcional que

esto puede representar para la salud del hombre. Análogamente se han reconocido algunos compuestos bioactivos en alimentos que contribuyen a disminuir el riesgo de padecer enfermedades del corazón, cáncer, diabetes, hipertensión y otras enfermedades, y se han diseñado productos alimenticios que preservan las sustancias que se consideran benéficas. Con esta finalidad los alimentos son combinados, enriquecidos o fortificados, buscando beneficiar la salud de las personas que los consumen. Es así el desarrollo actual que han tenido los alimentos funcionales, definidos como “cualquier alimento modificado o ingrediente alimenticio que pueda proveer un beneficio para la salud, además del que ordinariamente proporcionan los nutrientes que contiene en forma natural” (SERNAC, 2003).

El estrés oxidativo ha sido asociado con el desarrollo de varias enfermedades crónicas y degenerativas, como el cáncer, enfermedades cardíacas y degeneración neuronal como enfermedades del Parkinson y el Alzheimer. Además ha sido involucrado en los procesos de envejecimiento. Las especies reactivas al oxígeno, ERO o ROS (*Reactive Oxygen Species*) provocan daño biológico en moléculas como las proteínas, lípidos y DNA. Aproximadamente un 2% del oxígeno consumido por un organismo normal va a la formación de especies reactivas del oxígeno (EROs) de las cuales varias son radicales libres (peróxido, hidroxilo, oxígeno singulete, superóxido y especies reactivas de nitrógeno) que además de ser producidos por los procesos normales del metabolismo celular, se presentan de fuentes externas como el humo de cigarrillos, contaminación ambiental, químicos y toxinas ambientales (Pokorný, 2001; Wu y cols., 2004).

Las dietas ricas en frutas y vegetales han sido consideradas excelentes fuentes de antioxidantes. Las vitaminas C y E, los polifenoles y los carotenoides son los compuestos responsables de la actividad antioxidante en los alimentos. Los antioxidantes son reconocidos por inhibir la actividad de los radicales libres y EROs, teniendo un rol importante en la prevención del daño del DNA y transformación celular, que son las principales causas de enfermedades degenerativas. El consumo de estos compuestos ha sido promovido por autoridades de la salud. La fortificación con antioxidantes de alimentos básicos como el pan y otros, puede proveer una fuente segura de estos compuestos para aquellas personas que no consumen frutas y vegetales en su dieta normal. Ya se han reportado formulaciones fortificadas con

antioxidantes de pan y tortillas consumidas comúnmente en USA (Anton y cols., 2008; Wu y cols., 2004).

Por otro lado, para algunas poblaciones del mundo incluir proteínas de alta calidad en sus dietas constituye un problema, especialmente en aquellas que raramente consumen proteína de origen animal y deben obtener proteínas de cereales, leguminosas y otros granos. Aun cuando el aporte energético de estos alimentos es adecuado, concentraciones insuficientes de aminoácidos esenciales (AAE) pueden contribuir a aumentar la prevalencia de la desnutrición (FAO, 2008). Una forma para contrarrestar el problema de la deficiencia de AAE es identificar granos con proteína de alto valor biológico. Hay plantas alimenticias que no han sido totalmente explotadas, algunas de las cuales no son nuevas, puesto que fueron domesticadas, cultivadas y consumidas por el hombre precolombino, pero que después de la conquista fueron marginadas socialmente e incluso prohibido su cultivo. La quinua es una de esas plantas alimenticias que conjuntamente con la cañihua, la kiwicha y el tarwi tienen un alto potencial nutritivo (FAO, 2008).

1.2. Antecedentes de la quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo básico de los altiplanos Andinos y algunos países tropicales. Es además ampliamente cultivada en las tierras saladas del sur de Bolivia y norte de Chile. La quinua es una planta anual que crece entre 1-2,5 m de altura a altitudes de entre 2500-4000 msnm. La planta madura en 5-6 meses, produce semillas blancas o rosadas formadas a manera de mazorcas largas (Ogungbenle, 2003).

En la tabla 1 se muestra el análisis proximal de la quinua como tal (variedad producida en Chile), quinua cocida y la harina de quinua. En este último producto se encontraron diferencias considerables en un análisis químico realizado por Ogungbenle (2003), presentando mayor semejanza con la composición nutricional de la quinua cruda. El contenido de proteínas de la quinua varía entre 2,8 g/100g de porción comestible en la quinua cocida y 19,5 g/100g en la sémola de quinua, con un promedio ponderado de 12,3 g/100g. La quinua tiene un contenido de proteína más alta y un balance de aminoácidos mejor que la mayoría de los cereales. Pese a la cantidad, la importancia de las proteínas de la quinua radica en la calidad de las mismas, las cuales

son principalmente del tipo albúmina y globulina. Estas, tienen una composición balanceada de amino ácidos esenciales similar a la composición aminoacídica de la caseína, proteína de la leche (FAO, 2008).

Tabla 1: Composición proximal de la quinua en 100 gramos de porción comestible.

Nombre	Energía	Agua	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra	Ceniza
	(Kcal)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
Harina de Quinua	341	15,7	9,4	3,4	77,1	3,1	2,5
Quinua Cocida	101	79	2,8	1,3	16,3	0,7	0,6
Quinua común amarilla (Chile)	389	9,8	13,0	7,4	66,8	2,7	3,0
Semillas quinua ¹	357,4	13,6	12,3	5,4	66	4,9	2,6

(FAO, 2008)

A pesar de su buen contenido de nutrientes, investigaciones concluyen que los aminoácidos de la proteína en la harina cruda y sin lavar, no están del todo disponibles, porque contienen sustancias que interfieren con la utilización biológica de los nutrientes, además de otorgar sabor amargo. Estas sustancias son los glucósidos denominados saponinas (Ogungbenle, 2003).

El índice de calidad proteínica de la quinua para la edad preescolar tiene un valor de 90%, esto significa que, el preescolar debe consumir 1,46 g/kg/d (incluye 20% más por pérdidas fecales) de proteína de quinua para satisfacer el requerimiento del aminoácido más limitante. Para la edad adulta el índice de calidad proteínica de la quinua es 125%, esto indica que la proteína de la quinua cubre los requerimientos de aminoácidos esenciales, hasta los sobrepasa en un 25%. La cantidad de quinua que debe ingerir un adulto es 0,72 g/kg/d (incluye 20% más por pérdidas fecales). Esto no sólo tienen implicancia nutricional, sino que también desde el punto de vista económico sugieren la factibilidad de utilizar la quinua en los regímenes alimentarios y en los programas sociales en forma más racional, como estrategia para prevenir la desnutrición pluricarencial (FAO, 2008). La quinua (*C. quinoa*) es una buena fuente de proteína, carbohidratos, minerales esenciales, maltosa y D-xilosa. La absorción de agua y aceite son favorablemente buenas, lo que incrementa su potencial en formulación de alimentos y bebidas. Por lo tanto, la quinua es recomendada como un alimento básico en la dieta humana (Ogungbenle, 2003).

¹ Promedio ponderado de algunas variedades de Quinua, las cuales no están incluidas en la tabla 1.

1.3. Antecedentes del poroto rojo

El poroto común (*Phaseolus vulgaris L.*) es un alimento tradicional en la dieta humana, bajo en grasas y rico en proteínas, vitaminas, carbohidratos complejos y minerales (Rocha-Guzmán y cols., 2007b).

En la tabla 2 se presenta el análisis químico de los porotos comunes, tanto crudos como sometidos a proceso de cocción con posterior secado por sublimación del agua.

Tabla 2: Composición química de porotos comunes (*Phaseolus vulgaris L.*) (g/100 g).

Porotos comunes	Proteína	Lípidos	Cenizas	Fibra cruda	Carbohidratos	Humedad
Crudos	20,9 ±1,49 ^{ab}	2,49 ±0,22 ^b	3,80 ±0,27 ^a	8,55 ±3,31 ^b	54,3 ±2,94 ^a	9,93 ±0,42 ^b
Cocidos (freeze-dried)	22,1 ±2,07 ^{ab}	2,52 ±0,09 ^b	4,00 ±0,24 ^a	6,26 ±0,45 ^b	59,9 ±0,57 ^a	5,29 ±1,84 ^a

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre las distintas formas de porotos.

(Almeida Costa y cols., 2006)

El consumo de porotos secos se ha relacionado con la reducción de riesgo de diabetes, obesidad, enfermedades cardíacas y el cáncer de colon. Los porotos como leguminosas son buena fuente de fibra soluble. Este ingrediente prebiótico está compuesto principalmente por oligosacáridos que liberan carbohidratos lentamente, por lo que regula el vaciado gástrico, la velocidad de digestión y la absorción de nutrientes (Rocha-Guzmán y cols., 2007b).

El contenido de proteínas en las leguminosas varía entre 17-40%, versus los cereales que tienen entre 7-13%, siendo similar al contenido de proteínas en carnes con 18-25%. Sin embargo, el bajo nivel nutricional de las proteínas presentes en las leguminosas presenta el mayor problema. A pesar del alto valor nutricional del poroto, su amplio uso está de alguna manera limitado por la presencia de factores anti nutricionales, que pueden producir efectos adversos en la nutrición humana. Algunos ejemplos de estos compuestos son los inhibidores de enzimas, lactinas, fitatos, cianoglicósidos y ciertos compuestos fenólicos. Consecuentemente, es necesario desarrollar procesos de transformación que pudieran mejorar la calidad nutricional de leguminosas y proveer nuevos productos a los consumidores (Almeida Costa y cols., 2006; Martín-Cabrejas y cols., 2004).

Se ha demostrado que el uso de un solo tipo de tratamiento no es suficiente para lograr la inactivación o remoción completa de los factores anti nutricionales en leguminosas por lo que se recomienda el empleo de 2 ó más métodos, por ejemplo germinación y cocción, previo remojo (Davila y cols., 2003).

Recientemente, el interés del estudio de las leguminosas ha aumentado debido a su contenido en fitoquímicos, los cuales son metabolitos secundarios biológicamente activos sintetizados por las plantas (Davila y cols., 2003).

1.4. Antecedentes de la miel de abeja

La miel es un producto natural complejo producido por abejas a partir del néctar de flores, convirtiéndolo en miel de néctar. La composición de la miel depende del tipo de plantas visitadas por las abejas y por condiciones ambientales. La fuerte capacidad endulzante de la miel es debida a la presencia de los monosacáridos fructosa y glucosa como principales componentes (60-85%) y contiene además compuestos fenólicos, minerales, proteínas, aminoácidos libres, enzimas y vitaminas como compuestos minoritarios (Pérez y cols., 2007).

Los aminoácidos presentes en la miel se atribuyen a las abejas y a las plantas. Los de las abejas son comunes en la mayoría de mieles, mientras que los segundos dependen del origen botánico y geográfico de la miel. En este contexto, la composición aminoacídica de la miel es descrita por muchos autores como un método apropiado para diferenciar el origen botánico de la miel. La cantidad de aminoácidos libres en la miel varía entre 10 y 200 mg/100 g, con la prolina como su principal componente, correspondiendo a alrededor del 50% del total de los aminoácidos libres (Pérez y cols., 2007).

Por otro lado, evidencia científica reciente muestra efectividad de algunas mieles como antioxidante y como agente antibacterial, y aunque estas actividades han sido relacionadas con ciertos parámetros fisicoquímicos o compuestos, estos últimos no han sido identificados precisamente (Pérez y cols., 2007).

1.5. Antecedentes de cereales en barra

Las barras de cereales y energéticas han proliferado recientemente, en la actualidad la población americana (USA) gasta poco más del 50% de su dinero destinado a alimentos en productos preparados que no necesitan de cocción posterior o de rápida preparación. Estilos de vida ocupados y la creciente demanda de los consumidores por alimentos y *snacks* que sean fuentes rápidas de adecuada nutrición han llevado a la industria al desarrollo de alimentos como las barras de cereales las cuales combinan conveniencia y nutrición. Las barras de cereales se han ganado la aceptación de los consumidores siendo percibidas como “más saludables” (*better for you*), principalmente por el aporte de fibra dietaria (Dutcosky, 2006).

1.5.1. Definición

Básicamente las barras de cereal son alimentos convenientes que están compuestos de cereales secos (*Dry Mix*) listos para el consumo (*RTE*) unidos por una mezcla ligante (*Binder*) que pueden ser consumidos como *snack*, suplemento o sustituto alimenticio (Coleman y cols., 2007a).

Las barras de cereal en general son bajas en calorías siendo buenas fuentes de granos integrales y fibra, manteniendo características organolépticas aceptables (Coleman y cols., 2007b).

Dada la gran diversidad de formulaciones y metodología que existe para las barras de cereales, es importante conocer los fundamentos de sus ingredientes básicos y su proceso de elaboración para definir las condiciones más apropiadas en el desarrollo de nuevos productos.

1.5.2. Características técnicas

La matriz de cereales es la mezcla base de los productos en barra. Esta matriz está compuesta de una mezcla de piezas de cereales listos para el consumo (*RTE*) y un sistema ligante (*Binder*) para mantenerlos juntos. La matriz de cereales puede componerse particularmente de piezas de cereales y fase ligante en una proporción de peso/peso entre 1,2:0,8 hasta 0,8:1,2 respectivamente (Coleman y cols., 2007b).

Tanto el desarrollo de la matriz de cereales como el método de elaboración del producto deben tener como objetivo la obtención de una barra con buena cohesión de ingredientes, adecuada textura, buenas características organolépticas y vida útil conveniente.

La fase o mezcla seca de la barra de cereal puede incluir cualquier cereal listo para consumo o preparaciones de los mismos. Puede usarse avena, trigo, arroz, maíz, entre otros, solos o en combinaciones. En general las piezas de cereal pueden ser de cualquier tipo como laminado, inflado, copos, rallados, granola u otras formas adecuadas. Además se pueden incluir en la mezcla piezas de frutos deshidratados, frutos secos, fortificaciones, etc. Las piezas de cereales en general, no exclusivamente, tienen una densidad bulk entre 0,05-0,5 g/cc y peso entre 0,2-10 g. (Coleman y cols., 2007b).

El sistema ligante puede estar compuesto exclusivamente por materiales ligantes o puede incluir además materiales no ligantes. El término “ligante” se refiere a compuestos comestibles aglutinantes que pueden presentarse como fluidos frente al calentamiento para que así las piezas de cereales sean fácilmente recubiertas por toda su superficie y ante el enfriamiento se presentan en condición de no fluidos, por lo cual actúan como “pegamento” para los ingredientes secos. Esta fase se encuentra en la matriz de cereales generalmente en un porcentaje de entre 30-60% (Coleman y cols., 2007b).

La fase ligante preferiblemente contiene una mayor cantidad (>50 y <100%) de materiales ligantes y una menor cantidad (>0 a <50%) de materiales no ligantes. Se debe usar suficiente ligante para que las piezas de cereales puedan estar interconectadas y unidas como una sola estructura. El sistema ligante también puede actuar como medio de distribución de aditivos y compuestos a través de la matriz de cereales, tales como fortificantes, vitaminas, aditivos funcionales, minerales, macronutrientes, aromatizantes, saborizantes, entre otros. Esta fase se compone preferentemente de carbohidratos ligantes, que además añaden dulzor a la mezcla seca de cereales (Coleman y cols., 2007b).

Una o más fuentes de materia grasa son generalmente incluidas en la fase con varios propósitos. Las grasas actúan como ligantes, aumentan la vida útil, proporcionan sabor, mejoran palatabilidad y combinaciones de estos. Las grasas además forman

una barrera protectora en las piezas de cereal retardando la penetración de ligantes en los cereales. La matriz de cereales puede contener generalmente entre 0-15% en peso de materia grasa. Grasas particularmente útiles son los aceites no hidrogenados o parcialmente hidrogenados. La fuente grasa también puede incluir saborizantes como manteca de cacao, chocolate o aceite de coco (Coleman y cols., 2007b).

Otros aditivos saborizantes pueden también ser incluidos en la fase ligante tales como sal, especias, vainilla, cocoa, chocolate, canela y otros. Además aditivos con fines tecnológicos como estabilizantes, preservantes, fibras solubles, endulzantes, nutrientes, antioxidantes, excipientes, entre otros. Generalmente estos aditivos son agregados en niveles menores al 5% de la matriz de cereales. Los sólidos de leche son un aditivo comúnmente utilizado para aumentar la vida útil del producto en proporciones de 0,1-10% en peso de la matriz. Lecitina de soya se usa como emulsionante de las fases grasas e hidrofílicas, logrando mejorar la textura y consistencia de la matriz de cereales (Coleman y cols., 2007b). Actualmente se formulan también barras de cereales para proveer alto contenido proteico por porción, haciendo inclusiones de concentrados proteicos como caseinato de sodio, suero de leche o aislados proteicos de soya, y/o alto contenido de fibra por porción mediante la inclusión de fibras solubles como inulina y oligosacáridos en general.

1.5.3. Situación mundial

El crecimiento del segmento de las barras de cereales en los últimos años ha sido producto de un enfoque de innovación de los productos y los beneficios que pueden aportar a la salud. Las barras de cereal en Estados Unidos el año 2003, reportaban ganancias de US\$ 1,6 billones en el mercado de las barras alimentarias, en el cual están incluidos algunos productos energéticos, nutracéuticos y barras *snacks* (Palazzolo, 2003).

Desde la década del noventa, el mercado de las barras alimenticias en los Estados Unidos ha presentado un crecimiento de dos dígitos por año. De acuerdo a fuentes informativas al finalizar las últimas 52 semanas antes del 6 de octubre del 2002, las ventas de las barras de cereales aumentaron en un 18,8%, lo que significa que este mercado ha pasado de ser un nicho a una poderosa casa de la industria alimentaria (Palazzolo, 2003).

En otras regiones del mundo, por ejemplo en Argentina las ventas tuvieron un crecimiento del 160% el año 2000, proyectándose un crecimiento de 3% para los años siguientes. Así mismo en el Reino Unido han sido desarrolladas barras de cereales orgánicas, las cuales han sido enfocadas tanto a adultos como niños, dejando de ser un producto solo para el desayuno y transformándose en un producto para ser consumido a cualquier hora del día (Palazzolo, 2003).

Estudios recientes sobre cereales listos para el consumo (RTE), afirman que cada norteamericano consume en promedio 110 veces cereales RTE al año y que el 90% de las veces son consumidos en la mañana al desayuno, un 4% a la hora del almuerzo o cena y el 6% restante a cualquier hora del día. Los cereales RTE son el tercer producto más popular de los supermercados, en términos de venta en dólares encontrándose detrás de las bebidas carbonatadas y la leche. Los consumidores afirman que a la hora de comprar una barra de cereal, no solo buscan productos bajos en calorías, sino también ricos en vitaminas, minerales y proteínas (Palazzolo, 2003).

1.5.4. Situación nacional

El mercado chileno de los cereales listos para el consumo comenzó a ganar terreno hace más de una década. En Chile, se observa la creciente introducción de distintas marcas de barritas de granola y cereal, productos que se han asociado a una alimentación sana, libre de colesterol y grasas saturadas. Además, se han transformado en una alternativa de colación para que los niños lleven al colegio y en alimento escogido por adultos en diversas actividades (estudiantes universitarios, oficinistas y deportistas). El mercado total de este producto experimentó un crecimiento del 20% el año 2001, un 2% más que el mercado de cereales en caja listos para consumir, que sólo crecieron a una tasa del 18% según AC Nielsen (Coronil, 2006; SERNAC, 2003).

Un gran despegue es lo que han experimentado en los últimos años las barras de cereales, y no solamente por el mayor consumo por parte de los niños sino también de los adultos. Varias son las razones que explican este desarrollo, que se ha dado a tasas muy altas y que tiene a las empresas trabajando para continuar con el fortalecimiento de la categoría. Entre ellas, se puede mencionar la búsqueda de

productos más sanos y el menor tiempo que tienen las personas para alimentarse (Colombara, 2005).

En Chile el consumo per cápita de cereales RTE fluctúa entre 700 y 800 gramos, cifra que aumenta a más de 5 kilos en el segmento de la clase media, alcanzando un nivel similar al de los países desarrollados, donde son consumidos 6 kilos per cápita (Coronil, 2006).

1.5.5. Marketing actual

Las barras de cereales son comercializadas bajo un concepto de alimento saludable, sin embargo estudios muestran que en el mercado la mayoría de los productos son altos en grasas y azúcares, ya que el 41% de las calorías de una barra de cereal deriva del azúcar agregado. Los fabricantes han respondido a esta crítica diciendo que sus productos proveen vitaminas y minerales, y que estas barras están en línea con las regulaciones gubernamentales sobre la moderación de los niveles de azúcar agregado a los alimentos (Palazzolo, 2003; SERNAC, 2003).

En los inicios de este mercado, las barras de cereales solo eran encontradas en tiendas de salud o farmacias. Hoy en día se encuentran en supermercados, expendios pequeños, mini mercados, dulcerías, tiendas deportivas y otros. Además, el producto es promocionado en eventos relacionados con la salud y la vida sana, como eventos deportivos y sociales (Palazzolo, 2003).

1.6. Hipótesis planteada

Mediante un adecuado procesamiento y balanceada combinación de ingredientes es posible desarrollar un producto en base a cultivos tradicionales (quinua y porotos) y miel de abeja que aporte a la nutrición y bienestar de la sociedad actual.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Desarrollar un producto alimenticio en barra de alto valor nutricional, adecuado aporte calórico y que contenga compuestos antioxidantes, a base de quinua, porotos y miel de abeja; con buenas características reológicas y sin presentar factores anti nutricionales o indeseables que puedan presentarse en forma natural en las materias primas.

1.7.2. Objetivos específicos

- ❖ Determinar el procesamiento de los porotos apropiado para reducir o eliminar los factores anti nutricionales y a su vez potenciar sus propiedades funcionales.
- ❖ Analizar la forma óptima de uso tanto de la quinua como del poroto, según procesos previos y posteriores llevados a cabo en el proceso de elaboración, teniendo en cuenta las características deseadas del producto final.
- ❖ Definir los ingredientes complementarios a la formulación base, teniendo en cuenta características organolépticas, de duración y funcionales del producto final.
- ❖ Definir el proceso y analizar las variables del mismo para la elaboración del producto final.
- ❖ Definir la formulación final mediante parámetros texturales comparándolos con un patrón.
- ❖ Determinar la composición proximal del producto final.
- ❖ Determinar el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de su extracto etílico.
- ❖ Realizar un análisis nutricional respecto a la ingesta recomendada de proteína, carbohidratos, grasas y fibra, comparándolos con el producto desarrollado y con productos similares en el mercado.

- ❖ Analizar la calidad de proteína del producto mediante el cálculo teórico del perfil de aminoácidos y el índice de calidad proteínica según edad.
- ❖ Analizar la actividad de agua (a_w) y la textura del producto en el tiempo.
- ❖ Realizar un análisis sensorial del producto final mediante evaluación con panel de consumidores.

CAPÍTULO II.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales y Equipos

2.1.1. Materias primas y aditivos.

- Aceite vegetal de maravilla adquirido en el mercado nacional.
- Agua potable de la red de cañerías de Santiago, Región Metropolitana, Chile.
- Almendra picada seca.
- Azúcar de remolacha marca Iansa, blanca, granulada, sin aditivos ni preservantes.
- Fruta deshidratada trozada (durazno y/o manzana).
- Glucosa 1021, DE 42, del proveedor Inducorn S.A.
- Lecitina de soya 100%, líquida.
- Miel de abeja.
- Porotos rojos (*small red*) (*Phaseolus vulgaris L.*), procedentes de Perú.
- Quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*) orgánica pulida, procedente de Lo Palmilla y Mata Redonda, localidades de la Región Sexta, Chile.
- Saborizantes de la empresa Givaudan Chile Ltda. Caramelo X41601 y Vainilla X44585.
- Sal de mesa.

2.1.2. Equipos y utensilios de producción

- Balanza granataria modelo 1620D, OERLIKON AG, Precisa, Zurich, Suiza.
- Estufa de secado (eléctrica con extracción de aire). Marca: Heraeus. Type: TU 60/ 00 1977. Fabr. Nr 94103472. Menn Temp: 300°C 1/PE AC 230 volt, 50Hz, 12,3 a 2,8Kw.
- Plato calefactor con agitador RCH, IKA werk-Comkimag, Staufen, Breisgau.
- Germinador: Caja plástica (80x50x30 cm³) con tapa perforada, papel filtro y rejilla metálica (Anexo 1).
- Refractómetro.

- Termómetros.
- Moldes metálicos.
- Ollas de aluminio.
- Cuchillos.
- Mallas metálicas para bandeja de secado.
- Fuentes plásticas.
- Papel aluminio.

2.1.3. Equipos de análisis

- Centrífuga de laboratorio. Rotor inclinado 4000 rpm.
- Destilador de Proteínas Marca Buchi. Modelo: B-324. 220V, 50 Hz, 2100W, 10A.
- Digestor de Proteínas. Marca Buchi. Modelo 426. 220V, 50 Hz, 1100W, 5 A.
- Equipos y utensilios de laboratorio.
- Espectrofotómetro EF005. Marca Zuzi. Sistema óptico de haz simple, rejilla 1200 líneas/mm. Longitud de onda 200-1000 nm. Fuente iluminación Lámpara de tungsteno y lámpara de deuterio.
- Estufa de almacenamiento a 40°C (eléctrica sin extracción de aire). Marca: Heraeus. Typ: KB 600/ 220 volt. Fabr. Nr. 02618
- Higrómetro electrónico para medición de a_w . Modelo: a_w Sprint TH-500. Marca: Novasina. Rango de medida: 0,03 a_w y 1,00 a_w . Reproducibilidad: $\pm 0,002 a_w$. Precisión: $\pm 0,003 a_w$ (rango 0,04 y 0,97 a_w / 25°C, calibración en 7 puntos). Precisión del sensor de temperatura: $\pm 0,3^\circ\text{C}$. Cámara de medida de temperatura regulable entre 0 y 50°C.
- Máquina Universal de Ensayo de Materiales. Modelo: LR5K. Marca: Lloyd Instruments Limited. Hampshire, England.
- Plato calefactor RCH, IKA werk-Comkimag, Staufen, Breisgau.
- Rotavapor R-210. Marca Buchi. Velocidad de rotación 20–280 rpm.

2.2. Métodos

2.2.1. Tratamiento de la quinua

La quinua es la principal fuente proteica del producto, por lo tanto su tratamiento se enfocó en la conservación de sus características nutricionales, considerando las limitaciones en la textura que podría aportar al producto final. En base a un análisis bibliográfico y práctico en laboratorio se definió un tratamiento adecuado de la quinua previo a la elaboración de la barra.

Se remojó la quinua por un tiempo de 10 minutos, posteriormente se realizaron dos lavados. El primer lavado se llevó a cabo durante 15 minutos en agua a una temperatura de 55 °C. El segundo lavado duró de 5 a 10 minutos en agua a 55 °C. Finalmente se realizó un enjuague a temperatura ambiente, dejando luego escurrir las bandejas con la quinua lavada.

Después del lavado, la quinua se sometió a cocción con el fin de eliminar cualquier compuesto indeseado (inhibidores de tripsina) además de buscar mejorar la textura de la misma en el producto final. Para la determinación de los parámetros operacionales de la cocción se realizaron pruebas con 3 tiempos de cocción, evaluando cada una de las muestras en el producto final y buscando el mínimo procesamiento con el fin de minimizar pérdidas nutricionales. La cocción se realizó en suficiente agua potable (toda la quinua sumergida) a ebullición ($\approx 98^{\circ}\text{C}$) durante 2 minutos, 6 minutos y 10 minutos, respectivamente. Se decidió finalmente por la cocción de la quinua durante 6 minutos por sus buenas características organolépticas y reológicas en el producto final.

Finalmente se realizó un secado a una temperatura de 105°C en estufa hasta alcanzar una humedad final de 15%. El proceso de secado en dichas condiciones tuvo una duración de 110-120 minutos. La quinua almacenada, fue pasada por una molienda gruesa antes de ser utilizada en la elaboración del producto final, con el fin de mejorar sus características de textura en el mismo. Un diagrama de bloque de tratamiento realizado a la quinua se muestra en el Anexo 2.

2.2.2. Tratamiento del poroto rojo

Enfocándose en eliminar compuestos anti nutricionales, conservar nutrientes convencionales y potenciar el poder antioxidante, se realizó un estudio bibliográfico y se definió un tratamiento previo del poroto rojo.

El proceso de germinación de los porotos se llevó a cabo según la metodología descrita por López-Amorós y cols. (2006) y Martín-Cabrejas y cols. (2008). Antes de la germinación se lavó las semillas (500 g) y se remojaron en 2500 mL de solución acuosa al 0,7% de hipoclorito de sodio durante 30 minutos y a temperatura ambiente (20-25 °C). Luego las semillas se escurrieron, se enjuagaron hasta alcanzar pH neutro y se remojaron en agua destilada (2500 mL) a temperatura ambiente (20-25 °C) durante 5½ horas. Para la germinación de las semillas se realizó una reproducción en el laboratorio del equipo germinador (G-120 Snijders, Holland) utilizado por López-Amorós y cols. (2006). El equipo se constituyó de una bandeja plástica con doble fondo sobre el cual se colocó papel filtro en contacto con agua en la base, el cual mediante capilaridad mantuvo la humedad constante en las semillas. Las condiciones dentro del equipo (≈ 20 °C; 99% humedad relativa) se mantuvieron durante 4 días sin presencia de luz (López-Amorós y cols., 2006; Rodríguez y cols., 2008). Después de cumplido el tiempo de germinación, los porotos fueron enjuagados en agua potable y escurridos para ser trasladados al proceso térmico.

El autoclavado se llevó a cabo según el método de Shimelis y Rakshit (2007) con la diferencia de la no adición de agua durante la cocción. El proceso se realizó a una presión de $1,0547 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente a una temperatura de 121 °C permitiendo la cocción solamente con el vapor propio del autoclave, con el fin de minimizar la pérdida de compuestos hidrofílicos. Alcanzada la temperatura y presión adecuadas en el autoclave (2 minutos aprox.), se mantuvieron las condiciones durante 20 minutos. Después de cumplido el tiempo, los porotos se retiraron del autoclave y se enjuagaron en agua potable. A continuación, se realizó una molienda gruesa mediante un procesador de alimentos, para ser trasladados a la etapa de secado. Se dispuso los porotos molidos en mallas metálicas y a su vez mediante estufa se realizó el secado a una temperatura de 105°C durante 50-60 minutos, alcanzando una humedad final de 6%. Finalmente, se realizó una molienda fina mediante el procesador de alimentos. Un diagrama de bloque del tratamiento realizado a los porotos se muestra en el Anexo 3.

2.2.3. Ensayos preliminares y variables de proceso

La revisión bibliográfica que incluye los trabajos mostrados en la tabla 3, fue la base para la realización de los ensayos preliminares en la formulación del producto.

Tabla 3: Trabajos revisados en formulaciones de barras de cereal.

<i>Autor</i>	<i>Trabajo</i>	<i>Aporte</i>
Dutcosky y cols. (2006)	“Combined sensory optimization of prebiotic cereal product using multicomponent mixture experiments”	Proceso de elaboración e ingredientes básicos de una barra de cereal.
Burri y cols. (2002)	“Cereal bar and method of makig”	Características básicas de producto y proceso de elaboración.
Coleman y cols. (2007b)	“Low-calorie whole grain cereal bar”	Características nutricionales y ejemplos de formulaciones.
Coleman y cols. (2007a)	“Methods for making improved texture cereal bars”	Mejoras de procesos, propiedades de materias primas y ejemplos de formulaciones.
Coronil (2006)	“Desarrollo de una barra de cereal tipo “snack” utilizando quinua y nuez...”	Ejemplo de proceso y formulación.
ORAFI (2007)	“Recipe Soft Granola Bar – Bar1012A Ganola Bar/P95”	Ejemplo de formulación y proceso.

Los ensayos preliminares estuvieron enfocados principalmente en:

- Definir las proporciones aproximadas de los ingredientes base.
- Establecer las principales variables de la textura del producto.
- Precisar la relación entre los ingredientes de la mezcla seca y los ingredientes de la mezcla aglutinante.
- Definir el proceso de elaboración más adecuado, utilizando como parámetro principal la textura del producto.

2.2.4. Saborización

Definidas las proporciones aproximadas de los ingredientes base y las principales variables que influyen en la textura, se agregó los ingredientes minoritarios de la barra que le proporcionen sabor, textura y aroma.

Como ingredientes adicionales a la mezcla seca se agregó almendra seca picada y trozos de fruta deshidratada (durazno y/o manzana) adquiridos en el comercio. El

porcentaje de estos ingredientes correspondió al 5% del total de la formulación para cada uno, completando un 10% entre la almendra picada y la fruta deshidratada del total del peso del producto.

En la mezcla aglutinante se agregó saborizantes de vainilla y caramelo. Las proporciones utilizadas fueron de 0,10% para el sabor de vainilla y de 0,20% para el sabor de caramelo respecto al peso total de la barra, de acuerdo a recomendaciones del proveedor.

2.2.5. Definición de la fórmula final

Se llevó a cabo mediante un análisis comparativo de textura contra un patrón adquirido en el mercado. El patrón seleccionado fue una barra de marca *Quaker*, compuesta de avena, arroz inflado, hojuelas de maíz y chips de chocolate. Se realizó el análisis de dos variables. La primera, la relación de miel de abeja / glucosa en la mezcla ligante y la segunda, la proporción de mezcla ligante / mezcla seca en la formulación total. Estos parámetros fueron analizados solamente en base a la textura “óptima” comparada con el estándar comercial (patrón).

Para la definición de la formulación de la barra *snack* en base a poroto y quinua se plantearon dos sets de ensayos. Con el primero (tabla 4) se pretendió estudiar las proporciones de los principales compuestos aglutinantes del producto que serían los encargados de unir a todos los compuestos otorgando al producto la textura adecuada, intentando maximizar el contenido de miel de abeja por sus propiedades funcionales. Con el segundo set de ensayos (tabla 5) se pretendió estudiar la proporción de ingredientes secos (*Dry Mix*) y la mezcla aglutinante (*Binder*) a partir de los resultados obtenidos en el primer set de ensayos.

El análisis estadístico se realizó mediante el método de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) (Test de Rangos Múltiples) utilizado para discernir entre las medias de las respuestas del análisis de textura.

Tabla 4: Set de ensayos 1. Estudio de la relación glucosa / miel de abeja en la fase aglutinante (*Binder*) en la barra de poroto y quinua.

Ensayo	Proporción		Suma	Porcentajes en Formulación (%)			
	Glucosa	Miel de abeja		En <i>Binder</i>		En Barra	
				Glucosa	Miel de abeja	Glucosa	Miel de abeja
1	1,0	0,0	1	65,2	0,0	24,3	0,0
2	0,9	0,1	1	58,7	6,5	21,9	2,4
3	0,8	0,2	1	52,2	13,0	19,4	4,9
4	0,7	0,3	1	45,6	19,6	17,0	7,3
5	0,6	0,4	1	39,1	26,1	14,6	9,7
6	0,5	0,5	1	32,6	32,6	12,2	12,2

En el Anexo 4 se muestra las formulaciones completas utilizadas en el set de ensayos 1.

Tabla 5: Set de ensayos 2. Estudio de la proporción de mezcla seca (*Dry Mix*) / fase aglutinante (*Binder*) en la formulación de la barra de poroto y quinua.

Ensayo	<i>Dry Mix</i>	<i>Binder</i>	Suma	Porcentajes en Formulación (%)	
				<i>Dry Mix</i>	<i>Binder</i>
1	0,65	0,35	1	65,0	35,0
2	0,63	0,38	1	62,5	37,5
3	0,60	0,40	1	60,0	40,0
4	0,58	0,43	1	57,5	42,5
5	0,55	0,45	1	55,0	45,0

En el Anexo 5 se muestra las formulaciones completas utilizadas en el set de ensayos 2.

2.2.5.1. Análisis instrumental de textura

Las propiedades mecánicas de los alimentos juegan un papel primordial en el comportamiento de ellos durante el procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo. La importancia de la textura en la calidad total varía ampliamente en función del tipo de alimento, entre otros factores. Así por ejemplo, están los casos donde la textura puede ser un factor crítico en la calidad de alimentos tales como papas fritas, hojuelas de maíz, galletas y otros productos crujientes. Es por todo esto que existe

mucho interés por tratar de medir la textura a través de métodos cuantitativos (Castro y De Hombre, 2007).

La determinación instrumental de los parámetros texturales fue realizada mediante una máquina universal para ensayo de materiales. Se realizaron las pruebas mediante la técnica de la celda de cizallamiento de Kramer debido a que en esta técnica se ejerce fuerza sobre la totalidad de la muestra, entregando un valor representativo de las características texturales del producto (Coronil, 2006).

Por lo general en la técnica de la prueba en celda de Kramer se mide la “fuerza máxima de cizallamiento” pero se conoce que se produce una combinación de compresión, extrusión y cizallamiento (Castro y De Hombre, 2007). Usualmente la fuerza máxima generada durante la experiencia es la característica textural más importante. Esta técnica fue diseñada para evaluar la textura de sistemas complejos como son las barras de cereales, también se ha utilizado para productos crujientes tales como hojuelas de maíz y rizos de maíz (Coronil, 2006; Castro y De Hombre, 2007). Debido a la variabilidad de formas y tamaños de estos productos, resultaría extremadamente laborioso tratar de medir la textura pieza por pieza por cualquier otro método. La cajuela donde se coloca la muestra puede recibir un peso dado de muestra por lo que la heterogeneidad del producto no resulta inconveniente en este caso y solo se requiere mantener una determinada masa de producto a evaluar (Castro y De Hombre, 2007).

Los resultados de las experiencias instrumentales se expresan en función de la gráfica fuerza (N) v/s deformación (mm), que entrega el equipo universal de ensayo de materiales después de cada evaluación. Para el análisis de textura de las muestras, fue analizado solamente el parámetro de fuerza máxima.

Las condiciones experimentales son determinantes en los resultados obtenidos, por lo que estas fueron controladas a lo largo del estudio para cada una de las pruebas. El tamaño de la muestra introducida en la celda de Kramer fueron trozos de barra de 1,5 cm x 3 cm x 1 cm. Las muestras se analizaron después de 24 horas de elaboradas y estuvieron almacenadas en envases plásticos a temperatura ambiente. Aún cuando se mantuvieron constantes las condiciones del análisis, se pudo detectar diferencias considerables entre las mediciones de las muestras patrón, por lo que se realizó el análisis de textura del patrón para cada ensayo realizado.

2.2.6. Análisis de compuestos fenólicos y actividad antioxidante

2.2.6.1. Método de extracción

Los extractos (porotos crudos, harina de poroto, barra de poroto y quinua procesada) fueron preparados basándose en el método descrito por Boateng y cols. (2008) con pequeñas modificaciones.

Una muestra de 5 g se extrajo con 50 ml de etanol acuoso enfriado (etanol: agua; 80:20 v/v), durante 2 horas a temperatura ambiente y con agitación constante. Las muestras se centrifugaron durante 20 minutos y el supernadante fue removido. La extracción descrita se repitió dos veces y los supernadantes se juntaron para ser evaporados a 40 °C mediante un rotavapor. El concentrado fenólico fue aforado a un volumen final de 25 ml con agua destilada y finalmente almacenado a -18°C hasta el momento de su análisis. En el proceso descrito anteriormente se evitó la exposición prolongada de las muestras al efecto de la luz y se almacenaron en frasco de vidrio ámbar.

2.2.6.2. Determinación de compuestos fenólicos

El contenido total de compuestos fenólicos en las muestras (porotos crudos, harina de poroto, barra de poroto y quinua procesada) se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (Boateng y cols., 2008) como sigue. A cada 0,1 ml de extracto se le añadió 4,9 ml de agua destilada y 0,5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu. Se esperó 3 minutos para que ocurriera la reacción de oxidación de los compuestos, pasado el tiempo se neutralizó con 1,7 ml de carbonato de sodio al 20% v/v (Na_2CO_3). Después de 30 minutos se realizó la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm.

Se utilizó ácido gálico como estándar. El blanco utilizado fue agua destilada en lugar de muestra. El contenido total de fenoles en la muestra se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/g. Las mediciones fueron realizadas en duplicado.

2.2.6.3. Determinación de actividad antioxidante

El *2,2-difenil-1-picrilhidracilo* (DPPH) es un radical libre utilizado para determinar actividad antioxidante. La reducción del DPPH provocada por un compuesto con actividad antioxidante resulta en una pérdida de absorbancia a una longitud de onda de 517 nm. El grado de decoloración de la solución de DPPH indica el poder de captación de radicales libres de la muestra. La determinación de actividad antioxidante se realizó según el método de Brand-Williams (Boateng y cols., 2008).

Se preparó una solución de *2,2-difenil-1-picrilhidracilo* (DPPH) en metanol (10 mg/L). Se realizó una batería de soluciones de diferente concentración (proporción volumétrica) a partir de los extractos etanólicos, según el producto a analizar. Los productos analizados fueron: poroto crudo (10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30), harina de poroto (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10), producto en barra (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30) y quinua cocida-secada (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 100:0). De cada solución de muestra se tomó 0,1 ml y se añadió 2,9 ml de solución de DPPH. Para el control, a 0,1 ml de etanol se le añadió 2,9 ml de solución de DPPH. La mezcla se agitó y se dejó reposar durante 30 minutos en oscuridad (tubo de ensayo con papel aluminio). La absorbancia de la mezcla se midió a 517 nm contra un blanco preparado con 0,1 ml de solución de muestra y 2,9 ml de etanol.

La capacidad antioxidante de las muestras se expresó mediante el IC_{50} (concentración en mg de muestra requeridos para disminuir en un 50% la absorbancia del radical DPPH) relativa al control (100%).

$$\text{Capacidad antioxidante (\%)} = \frac{A_{517 \text{ control}} - A_{517 \text{ muestra}}}{A_{517 \text{ control}}} * 100$$

Además se calculó la capacidad de captar radicales libres de la muestra como porcentaje de reducción en la absorbancia del DPPH (% RSA: Radical Scavenging Activity) para una concentración de 0,1 g/mL para todas las muestras.

2.2.7. Análisis proximal

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Análisis de Alimentos, del Laboratorio de Procesos de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile y en la empresa Cesmec S.A. La totalidad de los análisis se realizaron por duplicado.

- *Cenizas*: Según Método Oficial AOAC (1997) No 923.03. La mineralización por vía seca, o calcinación, consiste en incinerar la muestra en un horno de mufla (550°C) y recoger el residuo mineral.
- *Humedad*: Según Método Oficial AOAC (1997) No. 925.09. Es un método termogravimétrico, que consiste en la aplicación de cierto grado de calor para desprender la humedad del alimento y después por diferencias de pesos se obtiene el valor final de humedad.
- *Proteína*: Método Oficial AOAC (1997) No 960.52. Este método se basa en la destrucción de la materia orgánica de la muestra por acción de ácido sulfúrico concentrado; producto de esta destrucción se forma sulfato de amonio, que en presencia de un exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco (NH₃), el que posteriormente es destilado y mediante retrotitulación determina el nitrógeno total de la muestra. El factor de conversión utilizado para obtener el contenido proteico fue de 6,25.
- *Carbohidratos disponibles*: se determinó por diferencia gravimétrica respecto a los otros análisis realizados, considerando el resultado de la diferencia solamente como los carbohidratos disponibles.
- *Lípidos*
 - Hidrólisis Ácida*: Según el Método Oficial AOAC (1997) No 922.06. En los alimentos procesados la materia grasa se encuentra ligada, por lo que es necesario realizar una hidrólisis, que permita separar la fase grasa de los otros componentes, lo que facilita su extracción por medio de solventes orgánicos.
 - GLC*: Método Oficial AOAC (1997) No. 996.01. Este método es aplicable a ésteres metílicos de ácidos grasos que contienen de 8 a 24 átomos de carbono, en muestras grasas animales, aceites vegetales y ácidos grasos después de su conversión a ésteres metílicos. La muestra fue metilada para formar ésteres metílicos de acuerdo a la norma UNE 55-037-737311. La separación de los ésteres

metílicos se realizó en un cromatógrafo Hewlett Packard modelo 5860, con detector de ionización de llama (FID), usando H₂ como gas portador. La columna capilar de sílica fundida fue BPX-70 de 50m, 0,25mm de diámetro interno, con un espesor de film de 0,25um, programada entre 160 y 230°C, a una rampa de 1°C/min. Las temperaturas del inyector y del detector fueron fijadas a 240°C.

- *Fibra*: La determinación del contenido de fibra se realizó en la empresa Cesmec S.A. según la orden de trabajo 350887. El análisis fue realizado según el método AOAC (1997) No. 978.10. El método se basa en la liberación de la fibra cruda mediante la ignición del residuo seco remanente después de la digestión de la muestra con una solución al 1,25% de H₂SO₄ y una solución al 1,25% de NaOH bajo condiciones específicas.
- *Sodio*: La determinación del contenido de sodio se realizó en la empresa Cesmec S.A. según la orden de trabajo 350887. El análisis fue realizado según el método AOAC (1997) No. 968.08. El método utiliza un espectrofotómetro de absorción atómica para la determinación de sodio.

2.2.8. Estudio acelerado de cambios de textura y actividad de agua

El estudio acelerado se realizó con el fin de estimar la estabilidad del producto en el tiempo. Los productos de cereales que pueden presentar oxidación de lípidos tienen un factor Q₁₀ cercano a 2, mientras que los productos de cereales que no presentan oxidación de grasas tienen un factor Q₁₀ de 3 (De Vries y Sewald, 2004). Teniendo en cuenta estos factores, se planificó un estudio de vida útil acelerado a 37°C con el fin de obtener un valor de estabilidad a 27°C, 2°C por sobre la temperatura ambiente (25°C) por seguridad.

Los parámetros de análisis en el tiempo fueron textura (fuerza máxima en celda Kramer) y actividad de agua (a_w). Las mediciones se realizaron dos veces a la semana durante 4 semanas. Las muestras fueron divididas en trozos de 1,5 cm x 5 cm x 1 cm, empacadas en papel aluminio doblado y mantenidas en estufa a temperatura constante durante el estudio.

2.2.9. Análisis sensorial

Se evaluó la aceptabilidad sensorial del producto final mediante una escala hedónica de 7 puntos, 1 (me disgusta mucho) y 7 (me gusta mucho), para seis características sensoriales. Además se incorporó a la ficha de evaluación dos preguntas abiertas de gusto o disgusto según la apreciación propia de los jueces. La evaluación fue realizada con 38 personas de entre 20 y 30 años de edad, que se declararon consumidores frecuentes de productos del tipo *snack* en barra (consumo mínimo de 1 vez por semana). La ficha de evaluación se adjunta en el Anexo 8.

De los resultados obtenidos, se calcularon los promedios de cada atributo sensorial con su respectiva desviación estándar para el análisis de aceptabilidad, obteniendo así un porcentaje de rechazo (puntaje 1, 2 y 3), de indiferencia (puntaje 4) y de aceptación (puntaje 5, 6 y 7). El análisis de las preguntas abiertas se realizó mediante agrupación de respuestas similares (Si, No y Qué) respectivamente, obteniendo finalmente tendencias de respuestas en base a porcentaje con respecto al total de evaluadores.

2.2.10. Análisis estadístico

Todas las mediciones de textura fueron realizadas en triplicado y los análisis químicos y fisicoquímicos fueron realizados en duplicado. Los análisis estadísticos se realizaron usando el software Microsoft Excel y/o el software StatGraphics Plus 5.1.

CAPÍTULO III.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1. Tratamiento de la quinua

Para definir el tratamiento más adecuado de la quinua (detallado en la sección de métodos), previo a su uso en la formulación del producto, se realizó una revisión y análisis bibliográfico de estudios relacionados con la eliminación de compuestos indeseables y el potencial nutricional de la quinua.

La quinua contiene una serie de elementos indeseables como los inhibidores de la tripsina y las saponinas. Por lo anterior, el procesamiento debe estar enfocado a la eliminación de estos glucósidos de alto peso molecular (saponinas) e inhibidores de tripsina. Estos últimos son proteasas que reducen el valor biológico de las proteínas, inhibiendo la actividad de la tripsina segregada por la glándula exocrina del páncreas. Sin embargo el inhibidor de la tripsina presente en la quinua es termolábil y fácilmente inactivada por el tratamiento térmico (FAO, 2008).

Scarpati y Briceño (1982) observaron que al incrementar la temperatura de lavado de la quinua de 40°C a 55°C aumenta progresivamente la extracción de la saponina y después de lavarla a 50°C, se ha observado una remoción entre 75 a 80% de la saponina. A temperaturas mayores de 70 y 87°C, los autores no detectaron saponinas. Los estudios muestran que el tiempo óptimo de remojo de la quinua corresponde a 10 minutos y que es aconsejable un primer lavado de 15 minutos y un segundo lavado de 5 a 10 minutos para obtener una mejor extracción de saponina. Se aconseja para incrementar el rendimiento, efectuar un enjuague posterior al último lavado. En las cantidades que normalmente se encuentran después del lavado de la quinua, las saponinas no perjudican al hombre e incluso tiene efectos beneficiosos por reducir los niveles de colesterol en la sangre, obstaculizando la absorción de colesterol alimentario. El efecto tóxico de la saponina de quinua puede estar en discusión, pero sin duda el sabor amargo resultante del glucósido es una limitante para su consumo (Scarpati y Briceño, 1982; FAO, 2008).

Mediante el adecuado lavado y la cocción posterior se puede concluir que la quinua quedó libre de compuestos indeseables.

3.2. Tratamiento del poroto rojo (*Phaseolus vulgaris* L.)

Para definir el tratamiento adecuado de los porotos (detallado en la sección de métodos de este trabajo), se realizó la revisión bibliográfica de estudios que evalúen las opciones de procesos para eliminar compuestos anti nutricionales y potenciar nutrientes, los cuales se discuten a continuación.

En general se ha observado que cada proceso por separado (hidratación, autoclavado, germinación y cocción) tiene efectos distintos sobre anti nutrientes, compuestos generadores de flatulencias y la digestibilidad *in vitro* de proteína. Por lo que el uso de un solo tratamiento no es suficiente para lograr la inactivación o remoción completa de los factores anti nutricionales en leguminosas, sino que una combinación adecuada de tratamientos.

Según Shimelis y Rakshit, (2007), en el total de α -galactosidos se obtuvo reducciones mediante aplicación de procesos de hidratación o remojo, debido a la solubilidad de los oligosacáridos y sus índices de difusión. Las saponinas, inhibidores de tripsina y fitohemagluteninas (lactinas), se redujeron hasta niveles no detectables cuando los porotos fueron sometidos a procesos térmicos (cocción y autoclavado). Por otra parte debido a la actividad metabólica, el proceso de germinación redujo la estaquinosa, rafinosa, ácido fítico y taninos.

Durante la germinación parte de los materiales de reserva de la semilla son degradados y usados para respiración y síntesis de nuevos constituyentes celulares del embrión en desarrollo, por lo que se producen cambios significantes en las características bioquímicas, nutricionales y sensoriales de los porotos. El proceso de germinación generalmente no solo reduce compuestos anti nutricionales, sino que aumenta niveles de aminoácidos libres, carbohidratos disponibles, fibra dietaria y otros componentes, además de incrementar la funcionalidad de las semillas incrementando los compuestos bioactivos. En algunos estudios se han observado disminuciones importantes de compuestos fenólicos durante el remojo previo a la germinación de las semillas. Con respecto a la actividad antioxidante se determinó que después de un periodo de 4 a 6 días de germinación, los porotos mostraron una actividad antioxidante más alta que las semillas crudas. El tiempo y la exposición a la luz son los factores que parecen tener influencia en esta capacidad funcional, ya que estos alcanzaron sus

valores más altos de actividad antioxidante después de 6 días de germinación en ausencia de luz (López-Amorós y cols., 2006).

El tratamiento térmico en porotos germinados puede ser beneficioso en términos de mejorar la biodisponibilidad de energía dada por azúcares de bajo peso molecular y por disminuir azúcares indeseables de fermentación intestinal provocadores de flatulencia. La composición de aminoácidos en los porotos varía muy poco cuando se comparó las semillas antes y después del tratamiento térmico. El uso de leguminosas germinadas y tratadas térmicamente, ya sea como tal o como materia prima, es nutricionalmente ventajoso debido al bajo contenido de oligosacáridos no digeribles y el alto grado de utilización proteica (Trugo y cols., 2000).

El efecto de la cocción a presión en los compuestos fenólicos y su distribución en los porotos (cáscara, cotiledón y agua de cocción) está directamente relacionado con el tiempo de proceso, sin embargo se ha detectado que en general existe una pérdida importante en el agua de cocción (Rocha-Guzmán y cols., 2007b).

El procesamiento de los porotos definido en este trabajo y basado en estudios previos de otros autores tuvo resultados satisfactorios con respecto a eliminación de compuestos antinutricionales (sensorialmente y sintomáticamente no detectados) e incrementos nutricionales (buen aporte proteico del producto final), sin embargo se pudieron provocar pérdidas importantes en compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

En la tabla 6 se muestran los rendimientos del tratamiento de los porotos. El rendimiento total del proceso (porotos crudos versus harina de poroto) fue de 90,7%, mientras que la germinación bajo las condiciones establecidas en el equipo de laboratorio tuvo un rendimiento de 82% (semillas germinadas por cada 100).

Tabla 6: Rendimientos del procesamiento de los porotos.

<i>Muestras</i>	Semillas germinadas (por cada 100)	Peso de 100 granos (g)				Rend. Total (%)
		Crudos	Germinados	Autoclavados	Harina	
1	85	53,03	126,60	114,50	48,20	90,89
2	79	48,69	125,70	105,80	44,10	90,57
Media	82,00	50,86	126,15	110,15	46,15	90,73
Desv. Est.	4,24	3,07	0,64	6,15	2,90	0,23

3.3. Ensayos preliminares y variables de proceso

Debido a que las materias primas utilizadas para la elaboración del producto son poco comunes en esta clase de alimentos procesados, se partió desde formulaciones y métodos encontrados en la bibliografía de productos en barra, principalmente elaborados a partir de cereales. Además se privilegió el uso de los ingredientes básicos en la barra manteniendo así el objetivo de realizar una formulación base del producto el cual sería analizado sensorial, nutricional y funcionalmente, dejando para un trabajo posterior la optimización integral del producto. A partir de los ensayos preliminares se definió la formulación base (ingredientes y proporciones aproximadas).

La mezcla de los ingredientes secos es el principal componente en el producto desarrollado ya que incluye la fortificación con la harina de poroto y la quinua, que es la que aporta el valor nutricional al producto. Fue importante un adecuado tratamiento previo de las materias primas (quinua y poroto) para obtener características de textura apropiadas en la barra final. La quinua por su parte debió alcanzar una humedad óptima después de la cocción y el secado para no ser demasiado dura en el producto. El poroto en cambio no debió ser demasiado seco ni tampoco particulado muy pequeño ya que provoca que las partículas “impalpables” formen una estructura demasiado compacta al ser unidas por la fase ligante.

Como materiales ligantes se consideró a la glucosa y a la miel de abeja las cuales según recomendaciones debían estar entre un 50-100% de la fase ligante, estos compuestos se distribuyeron en la matriz mediante mezclado de tal forma que interconectaron todas las piezas de la mezcla seca (Coleman y cols., 2007b).

Otro ingrediente importante es la materia grasa ya que mejoró la palatabilidad del producto mejorando su textura en boca, además de mejorar la consistencia de la fase ligante y ayuda a mantener una adecuada vida útil del producto. Se usó aceite vegetal de maravilla 100% adquirido en el comercio local. A la fase grasa se agregó lecitina de soya antes de ser mezclada con la mezcla total. Las cantidades de grasa y lecitina de soya en la formulación fueron usadas según ejemplos de formulaciones bibliográficas de barras de cereales.

Como edulcorante fue utilizada la sacarosa de remolacha marca lansa, granulada, sin aditivos ni preservantes. La cantidad de azúcar utilizada fue considerada hasta alcanzar un dulzor normal para el tipo de productos. Para lograr una adecuada

disolución de todos los ingredientes durante el calentamiento en la fase ligante se añadió agua a la mezcla. Las características principales de la formulación base a optimizar se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Formulación base para la saborización y posterior optimización de la misma.

Dry Mix (65-55%)		Binder (35-45%)	
<i>Ingrediente</i>	<i>% Total Fase</i>	<i>Ingrediente</i>	<i>% Total Fase</i>
Quinoa	50,0	Glucosa	65,2-32,6
Harina Poroto	50,0	Miel abeja	0-32,6
		Azúcar	10,0
		Materia grasa	5,3
		Lecitina de soya	0,5
		Agua	19,0
	100,0		100,0

Para la saborización de la formula base se utilizaron saborizantes, almendras picadas (5%) y frutas deshidratada (5%). Se utilizó sabor a vainilla y caramelo artificial, y las cantidades utilizadas fueron en base a recomendaciones de uso en productos similares de cereales. Estos saborizantes otorgaron sabor agradable al producto enmascarando en parte gustos propios de las materias primas atípicos en este tipo de productos. Con el fin de eliminar gustos amargos u otros, se utilizó una pequeña cantidad de sal (NaCl) en la formulación.

Con respecto a la relación de los ingredientes entre las distintas fases, se determinó dos variables principales con gran influencia en la textura de producto. La primera fue la proporción de glucosa/miel de abeja en la mezcla aglutinante. La segunda variable fue la proporción de la mezcla seca con respecto a la mezcla aglutinante. Aun cuando ambas variables tuvieron gran influencia por separado, no tuvieron relación entre ambas. Por lo anterior se optó por realizar el estudio por separado de ambas variables en dos sets de ensayos diferentes, en secuencia uno del otro.

El proceso de elaboración de la barra se basó en el análisis bibliográfico y los resultados obtenidos en los ensayos preliminares. En la figura 1 se muestra el proceso determinado para la elaboración de la barra de quinoa y poroto.

Figura 1: Diagrama de bloque para la elaboración de la barra de quinua y poroto.

En el proceso de elaboración de la barra se debió tomar especial cuidado en:

- La mezcla ligante en el calentamiento (disolución de azúcares) alcanzó entre 74 y 78 °Brix otorgando la humedad final adecuada del producto por tanto su textura, estabilidad y seguridad en el tiempo.
- Se debió formar una adecuada emulsión de la materia grasa (aceite vegetal) con los ingredientes hidrofílicos de la mezcla, previa mezcla de las fases seca y aglutinante.
- Una vez laminada la mezcla final, se realizó un calentamiento corto para mejorar las características finales de textura en el producto.
- El corte en barras de la lámina final se realizó después del enfriamiento.

3.4. Definición de la fórmula final

Los resultados para la textura del set de ensayos 1 se muestran en la tabla 8 y figura 2. El comportamiento de la textura versus la relación de glucosa / miel de abeja presentó un mínimo en el ensayo 3 siendo el más cercano a la respuesta del patrón. Se pudo observar que existe dependencia de la textura respecto a la variable analizada, sin embargo no es claro el tipo de relación entre las variables (figura 2). En el ensayo 3 la respuesta de textura mínima obtenida puede deberse a la óptima cantidad de carbohidratos ligantes presentes en la glucosa y en la miel de abeja que rodean a las partículas de la mezcla seca.

Tabla 8: Resultados del análisis de textura para el set de ensayos 1.

Ensayo	Proporción		Suma	Respuesta de Textura	
	Glucosa	Miel de abeja		Fuerza Celda Kramer (N)	
				Media (3)*	Desv. Estan.
1	1,0	0,0	1	2614,4^a	402,8
2	0,9	0,1	1	2424,6^a	426,7
3	0,8	0,2	1	1471,3^{bc}	120,5
4	0,7	0,3	1	1640,5^b	73,2
5	0,6	0,4	1	1703,3^b	133,0
6	0,5	0,5	1	2443,0^a	202,9
Patrón	-	-	-	1184,1^c	87,0

*Letras diferentes en la columna de fuerza muestran diferencias estadísticamente significativas entre las medias a un nivel de confianza del 95%.

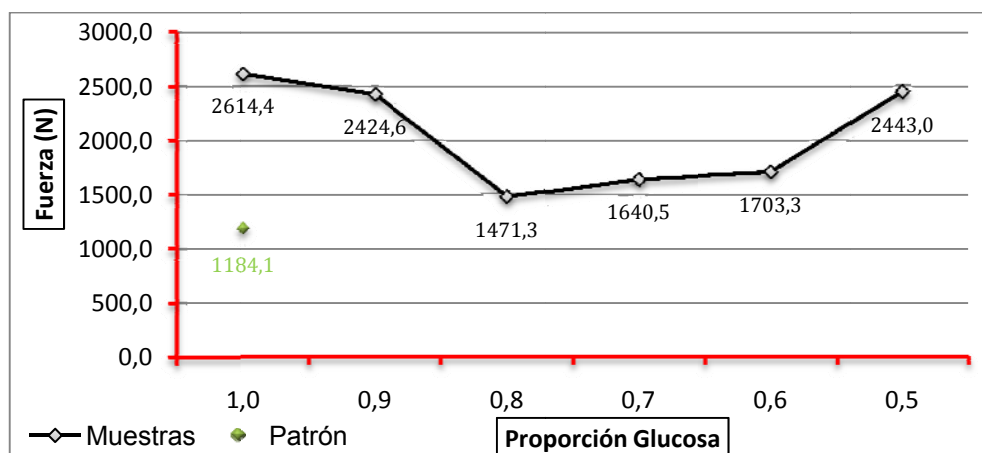


Figura 2: Perfil del estudio de textura para el set de ensayos 1.

El método utilizado para discernir entre las respuestas del análisis de textura es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) mostrado en el Anexo 6. El grupo homogéneo entre el ensayo 3 y el patrón indica que sus medias no tienen diferencias significativas con un 95% de confianza. La media del ensayo 3 es la única que no presenta diferencia significativa con la media de la muestra patrón.

Al analizar los datos obtenidos en el set de ensayos 1 se determinó que la proporción de glucosa / miel de abeja óptima (textura similar al patrón) corresponde a 0,8/0,2, respectivamente. Se observó una clara influencia de la variable en la textura de la barra, esto debido a las materias primas y sus características como la higroscopia, tamaño de partículas, etc. Estas características van a otorgar un comportamiento determinado del producto final dependiendo de las características de los ligantes (glucosa y/o en miel de abeja), por lo que fue una variable determinante en el desarrollo del producto.

En la tabla 9 y figura 3 se muestran los resultados del análisis de textura para el set de ensayos 2. Además se indican los porcentajes de humedad de las muestras respectivas según el número de ensayo. Se puede observar un claro decrecimiento en la fuerza de cizalla de la celda de Kramer (figura 3) conforme aumenta la proporción de mezcla ligante respecto a la mezcla seca, esto independientemente de la composición de la mezcla ligante (según ensayos preliminares). Se consideró en los ensayos la humedad de la muestra ya que es un parámetro que está relacionado directamente con la proporción de mezcla ligante en la formulación. Fellers y Bean (1977) aseguran que el contenido de humedad de productos a base cereales debe estar bajo un 12% para mantener una buena estabilidad durante el almacenamiento, evitando el desarrollo de olores y sabores desagradables (Coronil, 2006). Por lo anterior, se llevó el control de la humedad final para asegurar que se mantenga por debajo del 12% como límite crítico para todas las formulaciones de los ensayos.

Tabla 9: Resultados del análisis de textura para el set de ensayos 2.

Ensayo	Dry Mix	Binder	Suma	Respuesta de Textura		Respuesta de Humedad
				Fuerza Celda Kramer (N)		Método Gravimétrico
				Media (3)*	Desv. Estan.	Humedad (%)
1	0,65	0,35	1	2616,2^a	82,0	9,1
2	0,63	0,38	1	1753,3^b	105,8	10,4
3	0,60	0,40	1	1299,2^c	73,5	10,7
4	0,58	0,43	1	964,7^d	115,4	11,1
5	0,55	0,45	1	657,8^f	194,8	11,8
Patrón	-	-	-	1864,4^b	83,0	-

*Letras diferentes en la columna de fuerza muestran diferencias estadísticamente significativas entre las medias a un nivel de confianza del 95%

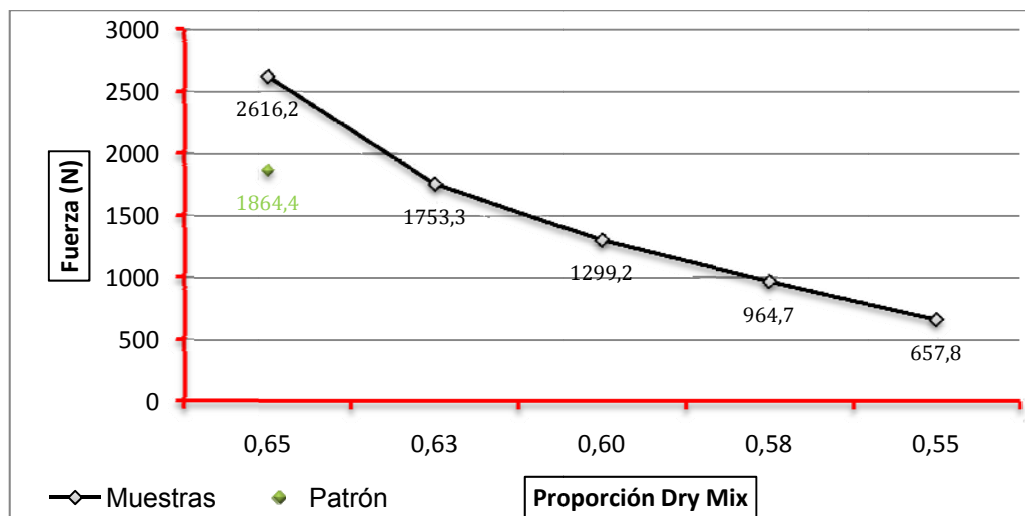


Figura 3: Perfil del estudio de textura para el set de ensayos 2.

El método utilizado para discernir entre las respuestas del análisis de textura es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) mostrado en el Anexo 7 para las medias obtenidas en el set de ensayos 2.

La muestra del ensayo 2 (62,5% *Dry Mix*) no tiene diferencias significativas con respecto al patrón, sin embargo se realizó un ajuste del modelo en el intervalo de análisis (proporciones de *Dry Mix* entre 0,55-0,65) para definir la fórmula final de la barra a la textura exacta obtenida para el patrón. En la tabla 10 y figura 4 se muestra la

regresión polinomial que explica matemáticamente el comportamiento de la textura versus la proporción de *Dry Mix* en el intervalo analizado.

Tabla 10: Relación entre porcentaje de *Dry Mix* y la textura de la barra.

Análisis de Regresión Polinomial

Variable dependiente: Fuerza

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	-9723,1	1816,96	-5,35131	0,0128
Dry mix	18573,7	3012,99	6,16454	0,0086

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F-Ratio	P-Valor
Modelo	2,16648E6	1	2,16648E6	38,00	0,0086
Residuo	171031,0	3	57010,4		

R-cuadrado = 92,6832 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 90,2443 porcentaje

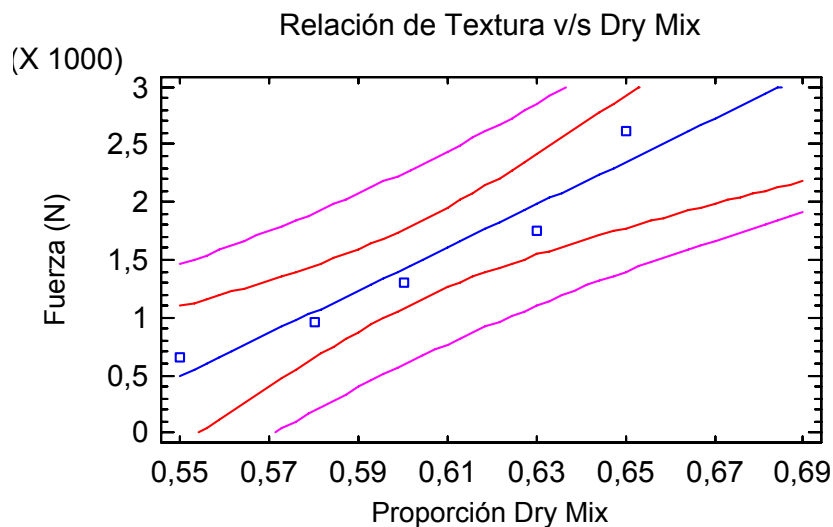


Figura 4: Relación polinomial de primer grado entre la textura de la barra y la proporción de *Dry Mix* en la formulación.

El polinomio de primer orden explica en un 92,7% la variabilidad de la textura de la barra en el intervalo de la proporción de *Dry Mix* analizado, además dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, hay relación estadísticamente significativa entre textura y la proporción de *Dry Mix* para un nivel de confianza del 99%.

Ecuación ajustada para la relación entre textura y proporción de *Dry Mix*.

$$Fuerza (N) = -9723,1 + 18573,7 * Dry Mix$$

Considerando la ecuación ajustada para la textura de la barra, se igualó el valor de la fuerza con la obtenida para el patrón, obteniendo así la formulación final mostrada en la tabla 11. La relación encontrada para la textura respecto la proporción de *Dry Mix* puede ser aplicada para el ajuste a nuevas características de textura deseadas para el producto.

Tabla 11: Formulación definida igualando la ecuación de ajuste para una fuerza máxima en celda de Kramer de 1864 N.

Dry Mix	% Total Fase	% Total Barra
Quinua	41,7	26,0
Harina Poroto	41,7	26,0
Almendra picada	8,3	5,2
Fruta seca	8,3	5,2
	100,0	62,4

Binder	% Total Fase	% Total Barra
Glucosa	52,1	19,6
Miel abeja	13,0	4,9
Azúcar	9,3	3,5
Materia grasa	5,0	1,9
Lecitina de soya	0,4	0,2
Sal	0,5	0,2
Flavor	0,9	0,3
Agua	18,7	7,0
	100,0	37,6

Aún cuando se definió la formulación en base a una fuerza máxima específica en celda de Kramer, se considera que debido a la variabilidad en las mediciones, el producto tendrá una textura adecuada por debajo de los 2000 N y por encima de los 1100 N. La variabilidad en la respuestas de textura se presume son debido a la heterogeneidad del producto. La barra de quinua y poroto presenta un producto complejo, con ingredientes de características reológicas individuales distintas por lo que su textura debe ser manejada por rangos adecuados.

3.5. Análisis de actividad antioxidante

3.5.1. Compuestos fenólicos.

Los resultados del análisis de compuestos fenólicos del extracto etílico para las muestras de poroto crudo, harina de poroto, quinua y barra *snack* se muestran en la tabla 12. El detalle del cálculo se adjunta en el Anexo 9.

Tabla 12: Contenido de compuestos fenólicos calculados como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g).

<i>Muestra</i>	Contenido Fenólico (bs) mgEAG/g	Desv. Estan.
Porotos Crudos	2,349	0,284
Harina de Poroto	1,190	0,050
Quinua (cocida secada)	1,258	0,003
Barra <i>Snack</i>	1,103	0,096

Los resultados del análisis cuantitativo de compuestos fenólicos muestran que los porotos crudos poseen la mayor cantidad de compuestos fenólicos, seguidos por la quinua, la harina de poroto y finalmente la barra *snack*. Si bien los resultados son comparables en pocos casos con otros estudios debido a diferentes condiciones del análisis y expresión de resultados, se puede observar que los valores para porotos crudos están por debajo de resultados obtenidos por Boateng y cols. (2008) quien obtuvo un promedio de 6,121 mg EAG/g para 3 variedades de porotos. Sin embargo para la variedad de porotos negros se observaron los menores valores de compuestos fenólicos (3,7 mg EAG/g para porotos crudos) (Boateng y cols., 2008).

Rocha-Guzmán y cols. (2007b) reportó hasta un 90% de disminución de compuestos fenólicos en porotos cocidos respecto a porotos crudos (en cáscara), perdiendo la mayor parte de estos en el agua de cocción. En este trabajo se obtuvo un 49,3% de disminución de compuestos fenólicos en el procesamiento de porotos (harina de poroto respecto a porotos crudos). Las mayores pérdidas de compuestos se presumen fueron en el agua de germinación, el autoclavado y el secado, en orden decreciente. Si bien no se realizó el análisis del agua de germinación y cocción, se presume un alto contenido de compuestos fenólicos en las mismas debido a su intensa coloración tomada de la cascara de los porotos (por lixiviación), estructura en la cual existe la mayor concentración de compuesto fenólicos (Rocha-Guzmán y cols., 2007b).

Se pudo observar en la quinua procesada (cocida y secada) un contenido similar de contenido fenólico a los porotos procesados. Yawadio y cols. (2008) reportó resultados satisfactorios en el análisis del poder antioxidante de la quinua cruda (resultados en equivalente de ácido tánico), recomendando su uso como ingrediente funcional. Lo anterior puede indicar que existe una pérdida importante del contenido fenólico durante la cocción y secado de la quinua usada en este trabajo. El contenido fenólico de la harina de trigo estándar y la harina funcional es de 0,61 y 0,67 mg EAG/g, respectivamente (Indualimentos, 2007). Estos valores son aproximadamente 50% menores que los obtenidos en este trabajo para la harina de poroto y la barra de poroto y quinua.

Finalmente la barra de quinua y poroto presenta un contenido fenólico de 1,103 mg EAG/g de muestra. Con fines comparativos se calculó un porcentaje de los resultados obtenidos en el estudio de Wu y cols. (2004) para los porotos rojos (*small red*) crudos y una barra de cereal del mercado (*snack bar, fruit and oatmeal, strawberry, Quaker*), en el contenido fenólico de ambos. Lo anterior debido a que las extracciones y preparación de muestras en dicho estudio fueron distintas a los realizados en este trabajo y por tanto los resultados obtenidos. La barra de cereal adquirida en el comercio por los autores, en comparación con los porotos rojos presentó un 22,5% de compuestos fenólicos (Wu y cols., 2004). La barra *snack* desarrollada en este trabajo presentó un 47,0% de compuestos fenólicos respecto a los resultados de porotos crudos. Si se compara ambos valores para las barras de cereales, asumiendo que las muestras de poroto rojo eran iguales, se puede estimar que la barra de poroto y quinua tiene un contenido considerablemente mayor de compuestos fenólicos (24%) que la barra de cereal adquirida en el comercio por Wu y cols. (2004). Teniendo en cuenta la formulación de la barra y la cantidad de compuestos fenólicos en las materias primas analizadas (quinua procesada y harina de poroto) se observa que debiera existir un aporte considerable de compuestos fenólicos por parte del resto de materias primas, principalmente la miel de abeja, fruta deshidratada, almendra y azúcar.

3.5.2. Actividad antioxidante.

La actividad antioxidante expresada como IC_{50} se muestra en la tabla 13. Se debe recordar que a menor valor IC_{50} , mayor capacidad de captar radicales libres tiene la muestra. En la figura 6 se muestra la decoloración de la solución del radical DPPH para una concentración de 0,1 mg/mL para todas las muestras (% RSA), este permite tener una clara idea de las distintas capacidades antioxidantes de los productos analizados. En el Anexo 10 se adjuntan los resultados y el detalle del cálculo del IC_{50} y % RSA.

Tabla 13: Actividad antioxidante expresada como IC_{50} (concentración en mg/mL de muestra requeridos para disminuir en 50% la absorbancia del radical DPPH).

Muestra	IC_{50} (mg ^{bh} /mL)	Desv. Estan.
Porotos Crudos	54,2	0,8
Harina de Poroto	127,6	0,9
Quinua (cocida secada)	241,0	10,4
Barra Snack	129,2	1,7

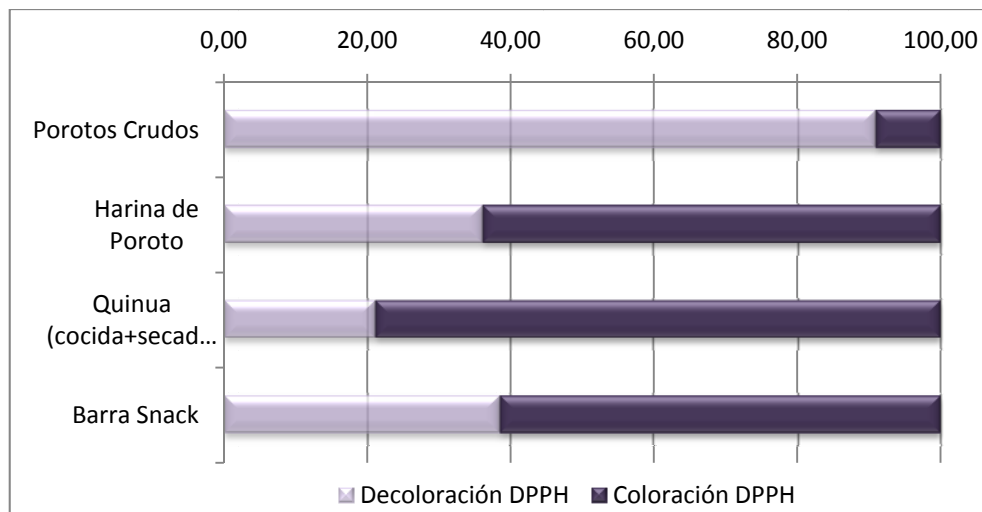


Figura 5: Actividad antioxidante expresada como decoloración de la solución de DPPH para una solución de 0,1 g/mL de muestra.

La mayor capacidad antioxidante la presentaron los porotos crudos con un IC_{50} de 54,2 (mg/mL). Este resultado es similar a valores reportados por López-Amorós y cols. (2006). Rocha-Guzmán y cols. (2007a) y Cardador-Martínez y cols. (2002) reportaron sus resultados en mg de extracto/mL, sin embargo son valores de órdenes similares. Se observó una disminución importante en la capacidad de captar radicales libres

durante el procesamiento del poroto, esto según el IC_{50} de la harina de poroto (127,6 mg/mL). Lo anterior se estima que ocurrió durante el secado de los porotos procesados, lo que pudo ocasionar la inactivación de compuestos antioxidante por elevadas temperaturas. La hipótesis anterior se da debido a los estudio realizados por Rocha-Guzmán (2007b), lo cuales muestran altos valores de actividad antioxidante para el cotiledón y la cáscara de los porotos después de la cocción. Adicionalmente, la germinación supone el aumento de los compuestos bioactivos, por lo que debiesen los porotos una vez germinados y cocidos aumentar su actividad antioxidante.

Por otro lado la quinua presentó una actividad antioxidante bastante baja (241 mg/mL). Yawadio y cols. (2008) reportó las actividades antioxidantes de varios extractos (distintos tipos de solventes) de dos tipos de quinua cruda. Los resultados mostraron valores distintos de IC_{50} dependiendo del tipo de extracto, en general la actividad antioxidante de la quinua obtenida fue alta (0,9 a 23,9 mg de extracto/mL) por lo que se puede considerar que durante el procesamiento realizado en este trabajo (cocción y secado) se perdió la actividad antioxidante de los compuestos activos (Yawadio y cols., 2008).

Considerando la actividad antioxidante de las materias primas mayoritarias, la barra de quinua y poroto presentó una capacidad de atrapar radicales libres bastante elevada (129,2 mg/mL). Si bien en el contenido de compuestos fenólicos ocurrió algo similar, el aporte de la quinua a la actividad antioxidante del producto debiese ser casi nulo. Los aportes de la capacidad antioxidante debiesen ser de la harina de poroto, la miel de abeja, la fruta deshidratada y almendras. Pérez y cols. (2007) declaró un %RSA para la miel de abeja floral (0,025 g/mL) de 20,7% el cual expresa una alta actividad antioxidante que puede explicar en cierta forma el valor obtenido para la barra de cereal. Además, durante la elaboración del producto existe un calentamiento de la barra en horno el cual puede producir ciertos cambios en los compuestos activos de todas las materias primas.

Según Rocha-Guzmán y cols. (2007a) la correlación entre los contenidos fenólicos y el índice de actividad antioxidante depende del tipo de extracto (fuerte correlación para extractos de acetona), es decir que para ciertos casos se ha determinado una buena correlación mientras que para otros casos una correlación casi nula como es el caso de este trabajo. Además, la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos está

directamente relacionada a su estructura química. Generalmente, los flavonoides son los compuestos que presentan mayor actividad antioxidante y las formas combinadas, como los glicósidos, tienen menor actividad que los libres (López-Amorós y cols. 2006).

En general, se ha podido determinar que los resultados obtenidos tanto para los compuestos fenólicos como para la actividad antioxidante dependen de los métodos utilizados y la expresión de los resultados, por lo que la comparación con estudios de otros autores no siempre es posible y se debe tener cuidado a la hora de interpretar los resultados.

3.6. Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal realizado a la barra de quinua y poroto se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Composición proximal de la barra de quinua y poroto.

<i>Componente</i>	Ensayo 1 g/100g	Ensayo 2 g/100g	Promedio g/100g	Desv. Stad.
Energía (Kcal/100g)	368,74	367,66	368,2	-
Humedad	10,80	11,20	11,0	0,28
Proteína	14,00	12,20	13,1	1,27
Hidratos de Carbono Disponibles	66,98	68,24	67,6	-
Grasa Total	4,98	5,10	5,0	0,08
Fibra cruda	-	-	1,1	-
Cenizas	2,14	2,16	2,2	0,01
Sodio (mg/100g)	-	-	157,0	-

Para analizar los resultados del análisis proximal mostrados en la tabla 14, se debe tomar en cuenta una dieta recomendada de referencia, considerando además el modo y costumbre de ingesta del producto en cuestión. El *snack* en barra es un producto consumido entre comidas principales en momentos de hambre o apuro, por lo tanto es importante definir la porción del producto y comparar el aporte nutricional con la energía entregada (calorías) según la dieta de referencia recomendada.

El *snack* en barra de quinua y poroto entrega una energía de 3,7 calorías por gramo de producto, este aporte se encuentra apenas por debajo del promedio de la barra *snack* de cereal del mercado en Chile el cual es 4 calorías por gramo con una desviación de 15% de ese valor (Sernac, 2003). Por ello, el aporte calórico de las

barras está directamente relacionado con su peso neto o porción establecida. Considerando el peso promedio de porción de las barras en el mercado y por simplicidad de comparación se fijará la porción de la barra de porotos en 25 gramos netos. En la tabla 15 se muestra la información nutricional de la muestra, según 100 gramos y según la porción establecida.

Tabla 15: Información nutricional de barra de poroto y quinua.

Información Nutricional		
Porción:	25 g	
Porciones por envase:	1	
	100 g	1 Porción
Energía (kcal)	368,2	92,1
Proteína (g)	13,1	3,3
Grasa (g)	5,0	1,3
Carbohidratos disponibles (g)	67,6	16,9
Fibra cruda (g)	1,1	0,3
Minerales (g)	2,2	0,5
Sodio (mg)	157,0	39,3

En una dieta normal de 2300 calorías diarias, una barra entrega el 4% de la energía y 6,6% de la cantidad de proteína diaria recomendada (50 gramos), por lo que el balance de proteína es positivo respecto a la energía, escasamente encontrado en las barras de cereal del mercado (Sernac, 2003). El aporte de proteína en casi su totalidad proviene de la quinua y del poroto rojo, por lo que hay dos clases de proteínas en lo que a calidad se refiere. Teniendo en cuenta que el porcentaje de ambos en la formulación es igual y su tabla de composición, el aporte de proteína debe ser en un 33,2% de la quinua y 66,8% del poroto. Anton y cols. (2008) al fortificar tortillas de trigo con harina de poroto lograron incrementos del 13,6% de proteína cruda. Más relevante que eso, señala que el perfil de amino ácidos es mejor que el de las tortillas corrientes. En la tabla 16 se muestra las necesidades de aminoácidos según edad, el perfil teórico de aminoácidos esenciales de la barra de quinua y poroto, y la cantidad requerida según edad y recomendación de ingesta de proteína para suplir los requerimientos nutricionales. El índice de calidad proteínica de la barra para la edad de escolares (10-12 años) es de 77,1% y para la edad de adultos de 75,6%, ambas con la metionina como aminoácido limitante debido a la carencia del poroto de este compuesto. Los

índices de calidad proteínica indican que el escolar y el adulto deben consumir 1,3 g/kg/día y 1,0 g/kg/día de proteína contenida en la barra para suplir los contenidos de aminoácidos necesarios (sin tomar en cuenta pérdidas fecales). En los Anexos 11 y 12 se detallan los cálculos mencionados.

Tabla 16: Puntaje de la proteína de la barra de quinua y poroto en relación a los requerimientos de aminoácidos y proteínas para escolares y adultos.

Aminoácidos	Escolares	Adultos	Composición AAE barra	Ingesta escolares	Ingesta adultos
(mg/g de proteína)	10-12 años		(mg/g proteína)	(g/kg/día)	(g/kg/día)
Isoleucina	28	13	48,3	0,6	0,3
Leucina	44	19	85,9	0,5	0,2
Lisina	44	16	72,7	0,6	0,2
Metionina + cisteína	22	17	17,1	1,3	1,0
Fenilalanina + tirosina	22	19	64,5	0,3	0,3
Treonina	28	9	46,9	0,6	0,2
Triptófano	9	5	12,1	0,7	0,4
Valina	25	13	57,2	0,4	0,2
Histidina	19	16	31,4	0,6	0,5

Fuente: FAO (2008)

El contenido de hidratos de carbono en el producto representa el mayor porcentaje entre los componentes, entregando el 73,4% de las calorías totales. Estos representan un 4,7% del valor recomendado (361 gramos) en una dieta normal, lo que muestra un balance apenas positivo respecto a la energía entregada, sin embargo se encuentra por debajo de la gran cantidad de productos en el mercado (71 g/100g promedio) (Sernac, 2003). Es recomendado que no más del 10% de hidratos de carbono sean azúcares simples. Los carbohidratos simples en el producto provienen principalmente de la glucosa (19,6%), la miel de abeja (4,9%) y el azúcar (3,5%). Los azúcares más complejos en gran medida son aportados por el poroto (15,6%) y quinua (17,2%) en forma de almidón principalmente². Haciendo un balance, los azúcares simples sobrepasan el 10% recomendado, pero no son el total componente de los hidratos de carbono entregados por el producto.

² Considerando la composición de cada componente según su cantidad en la formulación.

El aporte de grasa del producto es muy bajo, aún cuando los productos similares en el mercado tienen un aporte bastante disminuido, la cantidad encontrada en la barra de poroto y quinua está bajo el promedio (10,5 g/100g). La mayor parte de los lípidos del producto provienen de la materia grasa agregada (aceite vegetal) en un 1,5%. La fibra por su parte comparada con la cantidad promedio entregada por los productos del mercado (4,1 g/100g), es considerablemente más baja. En una dieta de 2300 calorías es aconsejado ingerir 25 g de fibra total, y la barra de poroto y quinua entrega un 4% de ese valor, estando acorde a su entrega energética pero siendo deficiente en comparación con productos del mercado (Sernac, 2003).

Los minerales aproximados (cenizas) presentan un valor bastante alto comparado con otros productos comerciales, esto puede deberse al alto contenido de cenizas reportado para los porotos (4,0%) y la quinua (2,6%) (Repo-Carrasco y cols., 2003; FAO, 2008).

Con respecto al sodio, la cantidad aportada por el producto está entre los productos del mercado que oscilan entre 52 mg hasta 392 mg por 100 gramos de producto (Sernac, 2003). La cantidad recomendada en una dieta normal es de 2400 mg por día, por lo que el producto cubre un 6,5% del requerimiento diario. Considerando el aporte energético, el sodio tiene un balance positivo considerablemente alto.

3.7. Estudio acelerado de cambios de textura y actividad de agua

Los dos parámetros seleccionados para el análisis de estabilidad del producto fueron la actividad de agua y la textura. Los parámetros se eligieron porque el producto fue optimizado en base a estos y por las condiciones del estudio, por lo tanto se asume como degradación o pérdida de calidad del producto el cambio de la textura y/o actividad de agua de la barra (De Vries y Sewald, 2004).

Las condiciones de envasado fueron en papel aluminio doblado. La hermeticidad del envase fue baja, por lo que el intercambio de humedad con el ambiente es muy probable. Por lo anterior, las principales reacciones de deterioro en el producto por migraciones de vapores serían cambios de textura, actividad de agua y *flavor* (De Vries y Sewald, 2004).

En las figuras 6 y 7 se muestra el comportamiento de las características de calidad analizadas, actividad de agua y textura, respectivamente durante el tiempo de almacenamiento a 37 °C. Los resultados en detalle se adjuntan en el Anexo 13.

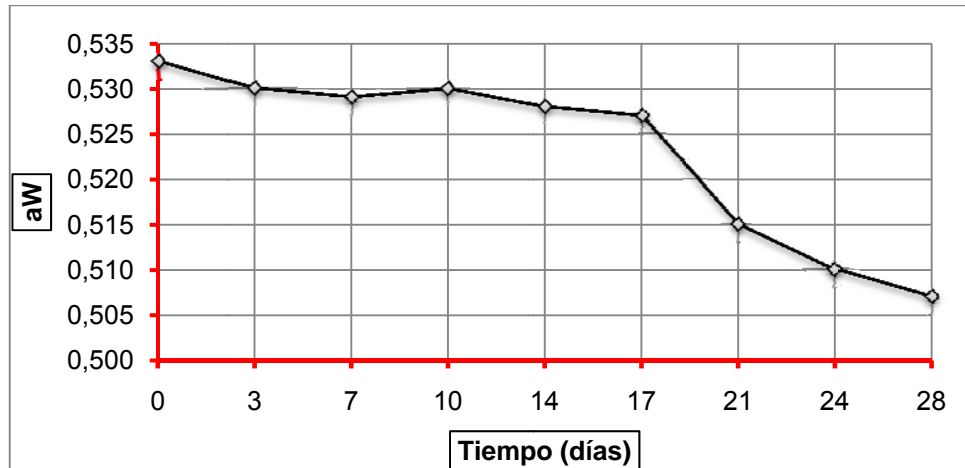


Figura 6: Evolución de la actividad de agua (a_w) durante el tiempo de almacenamiento (días) a 37 °C.

Se pudo observar un leve decrecimiento de la actividad de agua durante el tiempo almacenamiento a 37 °C, esto pudo deberse al intercambio de humedad con el ambiente. Beuchat y cols. (1981) señala que el límite mínimo de a_w para el crecimiento de hongos micotoxigénicos es de 0,780 y el límite mínimo para el crecimiento de bacterias patógenas es de 0,850. Por otro lado, Burg (1998) señala que algunos hongos alteradores pueden desarrollarse a a_w entre 0,60 y 0,65.

La actividad de agua de la barra de poroto y quinua se mantuvo entre 0,533 y 0,507 lo que asegura la inocuidad del producto y minimiza la actividad enzimática según el gráfico de a_w v/s velocidad de reacciones en alimentos (Abugoch, 2007). Esta disminución del parámetro significa sin duda una deshidratación del producto que tendrá influencia directa en la textura del mismo como se observa en la figura 8.

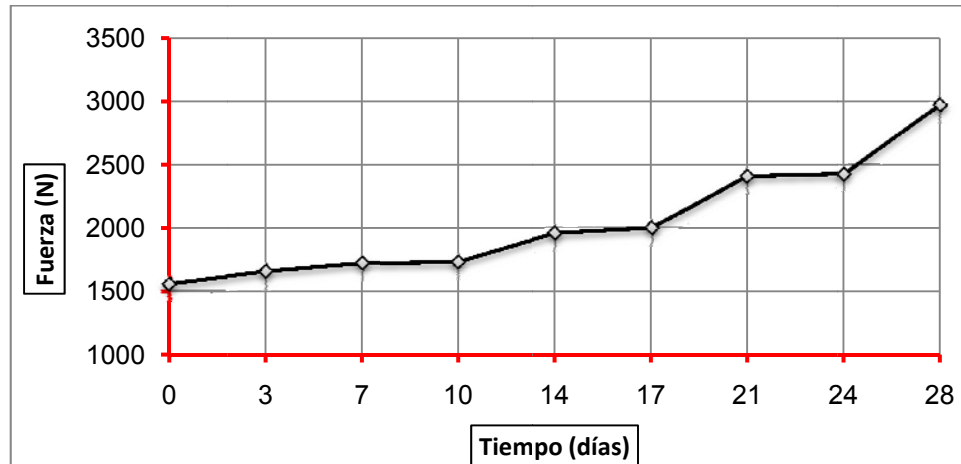


Figura 7: Estudio de la textura (N) durante el tiempo de almacenamiento (días) a 37 °C.

A partir del día 10 y 17 se observan incrementos importantes en la fuerza máxima de cizalla en la celda de Kramer, debido a la pérdida de humedad del producto por la falta de hermeticidad del envase, que afecta el equilibrio alcanzado con el ambiente. Se consideró como límite crítico superior 2000 N en la textura de la barra. Este límite se fijó por las pruebas realizadas con el patrón de optimización a lo largo de este trabajo. Se pueden observar en la figura 8 que a partir del día 17, la fuerza sobrepasa los 2000 N, por lo que se fija 17 días como el límite de mantención de textura adecuada de la barra de poroto y quinua a una temperatura de almacenamiento de 37 °C en el envase utilizado.

El factor Q_{10} es el incremento en la velocidad de reacción de deterioro para un alimento cuando la temperatura tiene un incremento de 10 °C. Para productos de cereales que presentan baja o nula oxidación de lípidos, un factor Q_{10} comúnmente utilizado es de 3. Por lo anterior, se tomó el factor Q_{10} igual a 3 para este trabajo (De Vries y Sewald, 2004).

Cálculo de mantención de textura a 27 °C mediante el factor Q_{10} igual a 3.

$$t_u(27^{\circ}\text{C}) = Q_{10} * t_u(37^{\circ}\text{C})$$

$$t_u(27^{\circ}\text{C}) = 3 * 2,5 \text{ semanas}$$

$$t_u(27^{\circ}\text{C}) = 7,5 \text{ semanas}$$

La mantención de la textura de la barra se puede considerar como 1,75 meses. Este tiempo da una idea de la estabilidad del producto en el tiempo, sin embargo se considera que el tiempo real de vida útil debe ser mayor en un envase adecuado, como es el caso de productos comerciales que tienen su vida útil entre 5 (Coronil, 2006) y 12 meses (barra *snack Quaker*) Un envase apropiado para el producto debe proveer buenas barreras al oxígeno y a la humedad principalmente, por lo que el film termosellable trilaminado de polietileno-polipropileno-aluminio es el más utilizado para este tipo de productos (Coronil, 2006).

3.8. Análisis sensorial

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial del producto final se resumen en las tablas 17, 18 y 19.

Tabla 17: Puntaje promedio obtenido en la evaluación de barra de quinua y poroto.

Atributo Sensorial	Puntaje*	Desviación Estándar
Aspecto general	5,6	0,8
Olor	6,4	0,8
Color	5,3	1,1
Textura	4,2	1,2
Sabor	5,1	1,0
Sabor residual	4,7	1,1

* Escala utilizada 1 (me disgusta mucho) y 7 (me gusta mucho).

Tabla 18: Porcentajes de aceptación respectiva por atributo.

Atributo Sensorial	Rechazo (%)	Indiferencia (%)	Aceptación (%)
Aspecto general	0,0	7,9	92,1
Olor	0,0	2,6	97,4
Color	5,3	13,2	81,6
Textura	39,5	15,4	44,7
Sabor	2,6	23,7	73,7
Sabor residual	13,2	28,9	57,9

Tabla 19: Resultados preguntas abiertas de evaluación de barra de quinua y poroto.

Pregunta Abierta	Respuestas Positivas	Respuestas Agrupadas ³	Porcentaje del Total N = 38	
Algo Especialmente	Gusta	Aspecto	9	76,3%
		Olor	21	
		Color	4	
	Disgusta	Aspecto	3	15,8%
		Olor	1	
		Color	2	
Algo Especialmente	Gusta	Textura	4	47,4%
		Sabor	16	
		Sabor Residual	2	
	Disgusta	Textura	19	65,8%
		Sabor	7	
		Sabor Residual	0	

Las características evaluadas, así como en la hoja de evaluación, se pueden dividir en dos grupos de tres características cada uno. El primero corresponde a los atributos de aspecto general, olor y color, los cuales estuvieron dentro de aceptación (5, 6 y 7), mientras que el segundo grupo de textura, sabor y sabor residual obtuvieron puntajes menores, en el rango de indiferencia (4) y aceptación (5). Estos resultados dejan en claro que el producto tuvo una aceptación alta a los atributos sensoriales que no requieren probar el producto, mientras que en los otros los jueces evaluaron al producto con menor puntaje. La textura fue el atributo sensorial con menor puntaje de la evaluación ($4,2 \pm 1,2$), manifestando las limitantes de la materia prima y su modo de uso. El olor de la barra tuvo el mayor puntaje con un promedio de 6,4 puntos y una baja desviación estándar ($\pm 0,8$) lo que muestra una opinión similar entre todos los jueces.

Según los resultados mostrados en la tabla 18 se puede observar que con excepción de la textura y el sabor residual, todas las características tuvieron sobre 70% de sus puntajes en el nivel de aceptación. Para la textura nuevamente se obtuvo el porcentaje menor de aceptación con solo un 44,7%, un 39,5% de rechazo y 15,4 de indiferencia. Por otro lado el olor del producto tuvo la mayor aceptación con un 97,4% y un solo puntaje de indiferencia (2,6%).

De igual manera en la tabla 18, se puede observar que al 65,8% de los jueces le disgustó algo respecto al sabor, textura y sabor residual. De las 25 respuestas que

³ Puede no corresponder al total de repuestas positivas ya que algunas respuestas relacionan más de un atributo sensorial.

indican disgusto, 19 de ellas correspondieron a la textura, teniendo entre las respuestas más comunes, la dureza, granulometría y arenosidad. De las 18 respuestas que indican que algo gustó especialmente, 16 se refirieron al sabor del producto. En lo que respecta a las características de aspecto, olor y color, las respuestas positivas frente al gusto fueron 29 (solo 6 al disgusto), de las cuales 21 se refirieron al olor, siendo nuevamente uno de los atributos con mejor aceptación.

En general, la evaluación sensorial mostró un producto aceptable en el cual sensorialmente no se detectaron compuestos indeseables, teniendo aun características que pueden seguir siendo optimizadas. La clara limitante de las materias primas, quinua y poroto específicamente en la elaboración del producto, es la textura que le aportan a la barra, dándole dureza, sequedad y arenosidad. Estas limitantes están sujetas al modo en que se usaron las materias primas, tratando de potenciar su aporte nutricional, más no su aceptación sensorial directamente. Por lo anterior se confirma al atributo de textura como adecuado para ser utilizado como parámetro de optimización.

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un producto en barra a base de quinua, poroto y miel de abeja con buenas propiedades nutricionales y funcionales. El producto representa una fórmula base con características organolépticas aceptables que pueden ser optimizadas sensorialmente en futuros estudios.

El tratamiento más adecuado para eliminar compuestos indeseables y mejorar la textura de la quinua en el producto final se basó en remojo, seguido de lavado y enjuague final. Posteriormente cocción de la quinua en abundante agua a ebullición durante 6 minutos y finalmente secado en estufa para alcanzar una humedad final de 15%. Previo al uso en la formulación se realizó una molienda gruesa en el procesador de alimentos.

Por otro lado el tratamiento de los porotos para eliminación de compuestos anti nutricionales y potenciar la capacidad funcional se basó en remojarlos y lavarlos antes de ser germinados durante 4 días en oscuridad. A continuación fueron enjuagados y autoclavados durante 20 minutos a 121°C. Después se hizo una molienda gruesa y se secaron los porotos hasta una humedad de 6% para ser finalmente molidos y usados en la formulación del producto.

El análisis proximal del producto mostró buenas características nutricionales respecto a productos *snack* en barra presentes en el mercado (proteína: 13,1 ±1,27; H.C.: 67,6; lípidos: 5,0 ±0,08 g/100g y energía: 368,2 Kcal/100g). El índice de calidad proteínica de la barra para escolares fue de 77,1% y para adultos de 75,6%, con la metionina como aminoácido limitante.

En la determinación del contenido fenólico y la actividad antioxidante los resultados mostraron que los porotos crudos presentan las mejores características antioxidantes y durante el proceso se pierden en un 50% aproximadamente. La miel de abeja y los otros compuestos en la formulación del producto tienen un aporte importante en la actividad antioxidante. Los resultados obtenidos en general fueron menores a otros reportados, se presume que estas diferencias son debido a que no existen métodos estándar establecidos y por lo tanto los resultados dependen del método utilizado. El producto desarrollado presenta buenas propiedades antioxidantes las cuales pueden

ser aún mejoradas mediante optimización de los tratamientos previos de las materias primas para minimizar pérdidas de compuestos funcionales.

La mantención de la textura del producto fue de 2 meses considerando que el estudio fue realizado en un envase poco adecuado para el producto, por lo que se considera que la vida útil real del producto debe ser mayor ya que la característica de calidad afectada en el tiempo fue la textura por intercambio de humedad con el ambiente.

En la evaluación sensorial del producto se obtuvo un puntaje promedio de 5,2 (escala hedónica del 1 al 7) de todas las propiedades evaluadas. El puntaje anterior corresponde al intervalo de aceptación, además, sensorialmente no se detectaron compuestos indeseables en el producto. El atributo con menor puntaje fue la textura (4,2) la cual es entregada por las propias características reológicas de las materias primas. Por lo anterior las condiciones de proceso pueden seguir siendo optimizadas para obtener una mejor calidad sensorial del producto.

Los cultivos tradicionales utilizados en este trabajo (quinua y poroto) tienen un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos y presentan una real oportunidad de aportar a la nutrición y bienestar de la sociedad.

CAPÍTULO V.

REFERENCIAS

- Abugoch L. (2007). “*Alimentos de humedad intermedia*”. Clase Ingeniería de Procesos II. Universidad de Chile, Fac. de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago. Chile.
- Almeida Costa Ermetice G.; Queiroz-Monici K.; Machado R. y Costa de Oliveira A. (2006). “*Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean chickpea and lentil legumes*”. Food Chemistry 94 (2006) 327-330
- Anton A.; Ross K.; Lukow O.; Fulcher R. y Arntfield S. (2007). “*Influence of added bean flour (Phaseolus vulgaris L.) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas*” Food Chemistry 109 (2008) 33–41
- AOAC (1997). “Official Methods of Analysis of AOAC International”.16th Edition 3rd Revision 1997.
- Ayala G.; Ortega L. y Moron C. (2008) “*Capítulo VIII: Valor nutritivo y usos de la quinua*”. Food and Drogas Administration (FAO).
- Beuchat, L. R. (1981). “*Microbial stability as affected by water activity*”. Cereal Foods World, 26(7): 345-349
URL: http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap8_1.htm#top
- Boateng J.; Verghese M.; Walker L. T. y Ogotu S. (2008). “*Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (Phaseolus spp. L.)*”. LWT-Food Science and Technology (2008), doi: 10.1016/j.lwt.2007.11.025
- Burg, J. (1998). “Raising The Health and Energy Bar”. Food Product Desing.
- Burri J.; Daenzer-Allonce M.; Desjardins J. y Neidlinger S. (2003). “*Cereal bar and method of making*”. US Patent N°: US 6,607,760 B2. Nestec S.A., Vervey (CH)
- Cardador-Martínez A.; Loarca-Piña G. y Oomah D. (2002). “*Antioxidant activity in common beans (Phaseolus vulgaris L.)*”. J. Agric. Food Chem. 2002, 50, 6975-6980

- Castro E. y De Hombre G. (2007). "*Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*". Universidad De Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago. Chile.
- Coleman E.; Nirney S., Brander R. (2002). "*Cereal bars and methods of their manufacture*". US Patent, Serial N°: 334032. Kraft Foods Holdings, Inc. Chicago-US. Coleman E.; Birney S. y Altomare R. (2007a). "*Methods or making improved texture cereal bars*". US Patent, Pub. N°: US 2007/0237880 A1. Kraft Foods Holdings, Inc., Northfield IL (US).
- Coleman E.; Schmid A.; Katz M. y Birney S. (2007b). "*Low-calory whole grain cereal bar*". US Patent, Pub. N°: US 2007/0104853 A1. Kraft Foods Holdings, Inc.
- Colombara C. (2005). "*El veloz despegue de las barras cereales fortificadas*". Las Últimas Noticias. Santiago. Chile.
- Coronil C. (2006). "*Desarrollo de una Barra de Cereal tipo "snack" utilizando Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y Nuez (*Juglans regia*) Variedad Semilla California. Estudio de Vida Útil y Determinación del Aporte Calórico/Protéico de la Formulación Optimizada*". Universidad de Chile. Santiago. Chile. 2006
- Davila M.; Sangronis E.; Granito M. (2003). "*Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales*". ALAN.
URL: <http://www.alanrevista.org/ediciones/2003-4>
- DeVries Jon y Sewald Mark (2004). "*Food Product Shelf Life*". Medallion Laboratories. Minneapolis, Minnesota-US. 2004. URL: <http://www.medallionlabs.com>
- Dutcosky S.; Grossmann M.; Silva R. y Welsh A. (2006). "*Combined sensory optimization of a prebiotic cereal product using multicomponent mixture experiments*". Food Chemistry 98 (2006) 630-638
- Fellers, D. y Bean M. (1977). "*Storage Stability of Wheat Based Foods: A review*". J. Food Science 42(5): 1143-1147
- Indualimentos (2007). "*Snacks Saludables*". Noviembre/Diciembre. Pág. 40. CTG. Centro Tecnológico Granotec. Santiago. Chile

- López-Amorós M.;Hernández T. y Estrella I. (2006). “*Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity*”. Journal of Food Composition and Analysis 19 (2006) 277-283
- Martín-Cabrejas M.; Díaz M.; Aguilera Y.; Benitez V.; Mollá E. y Rosa M. (2008). “*Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes*”. Food Chemistry 107 (2008) 1045-1052
- Martín-Cabrejas M.; Sanfiz B.; Vidal A.; Mollá E.; Rosa M. y López-Andréu F. (2004). “*Effect of Fermentation and Autoclaving on Dietary Fiber Fractions and Antinutritional Factors of Beans (Phaseolus vulgaris L.)*”. J. Agric. Food Chem. 2004, 52, 261-266
- Ogungbenle H. (2003). “*Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa) flour*”. International Journal of Food Sciences and Nutrition (2003) 54, 153-158
- ORAFTI (2007) “*Recipe Soft Granola Bar BAR1012A GRANOLA BAR/P95*”. ORAFTI Active Food Ingredients. 2007. Aandorenstraat 1, B - 3300 Tienen Belgium. URL: <http://www.orafti.com>
- Palazzolo, G. (2003) “*Cereal Bars They are not hust for breakfast anymore: Business Trend Analysis and the Leading Edge Group Commack*”. Publication no. W-2003-0127-01F. Vol. 48. No. 2. NY-USA.
- Pérez R.; Iglesias M.; Pueyo E.; González M. y de Lorenzo C. (2007). “*Amino Acid Composition and Antioxidant Capacity of Spanish Honeys*”. J. Agric. Food Chem. 2007, 55, 360-365
- Pokorný J. (2001). “*Antioxidants in Foods*”. Instituto de Tecnología Química de Praga Parte 1, Publicaciones Woodhead Ltd., 2001.
- Repo-Carrasco R.; Espinoza C. y Jacobsen S. (2003). “*Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (Chenopodium quinoa) and Kañiwa (Chenopodium pallidicaule)*”. FOOD REVIEWS INTERNATIONAL Vol. 19, Nos. 1&2, pp. 179–189, 2003
- Rocha-Guzmán N.; Herzog A.; González-Laredo R.; Ibarra-Pérez F.; Zambrano-Galván G.; Gallegos-Infante J. (2007a). “*Antioxidant and antimutagenic activity of phenolic*

compounds in three different colour groups of common bean cultivars (Phaseolus vulgaris)". Food Chemistry 103 (2007) 521–527

Rocha-Guzmán N.; González R.; Ibarra-Pérez F.; Nava-Berúmen C.; Gallegos-Infante J. (2007b). "*Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars*". Food Chemistry 100 (2007b) 31–35

Rodríguez C.; Frias J.; Vidal-Valverde C. y Hernández A. (2008). "*Correlations between some nitrogen fractions, lysine, histidine, tyrosine, and ornithine contents during the germination of peas, beans, and lentils*". Food Chemistry 108 (2008) 245-252

Scarpati, Z. y Briceño, E. (1982). Informe de consultoría sobre tecnología y control de la calidad de la quinua y derivados. FAO-RLAC. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

SERNAC (2003). "*Análisis de Características Nutricionales y Rotulación de Cereales en Barra*". Gobierno de Chile. Santiago. Chile.

Shimelis A. y Rakshit K. (2007). "*Effect of processing on antinutrients and in vivo protein digestibility of kidney bean (Phaseolus vulgaris L.) varieties grown in East Africa*". Food Chemistry 103 (2007) 161-172

Trugo L.; Donangelo C.; Trugo N. y Bach K. (2000). "*Eect of heat treatment on nutritional quality of germinated legume sedes*". J. Agric. Food Chem. 2000, 48, 2082-2086 URL: www.foodproductdesing.com

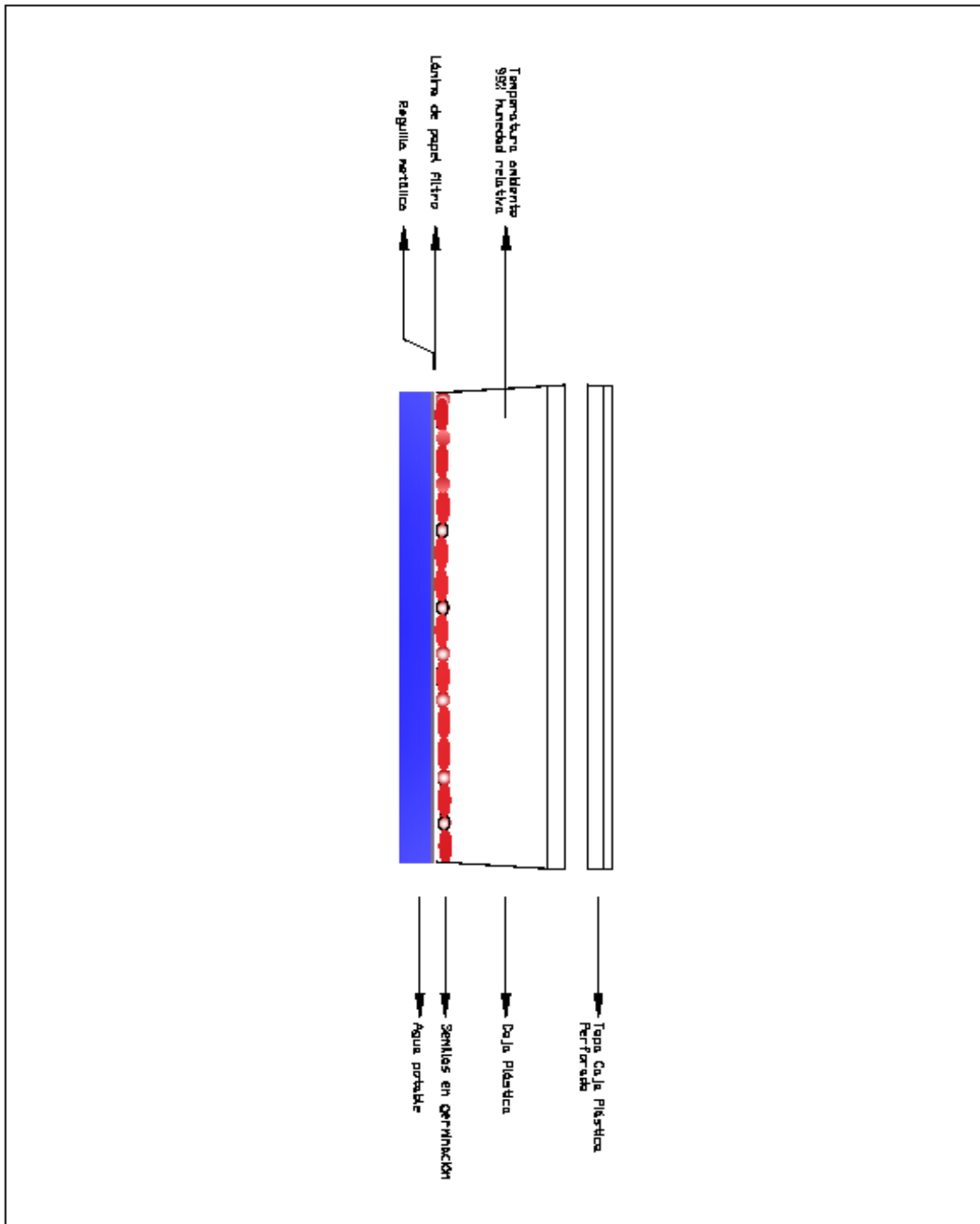
Wu X.; Beecher G.; Holden J.; Haytowitz D.; Gebhardt S.; Prior R. (2004). "*Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States*" J. Agric. Food Chem. 2004, 52, 4026-4037

Yawadio N. R.; Kikuzaki H., Konishi Y. (2008). "*Antioxidant activity of various extracts and fractions of Chenopodium quinoa and Amaranthus spp. seeds*" Food Chemistry 106 (2008) 760–766.

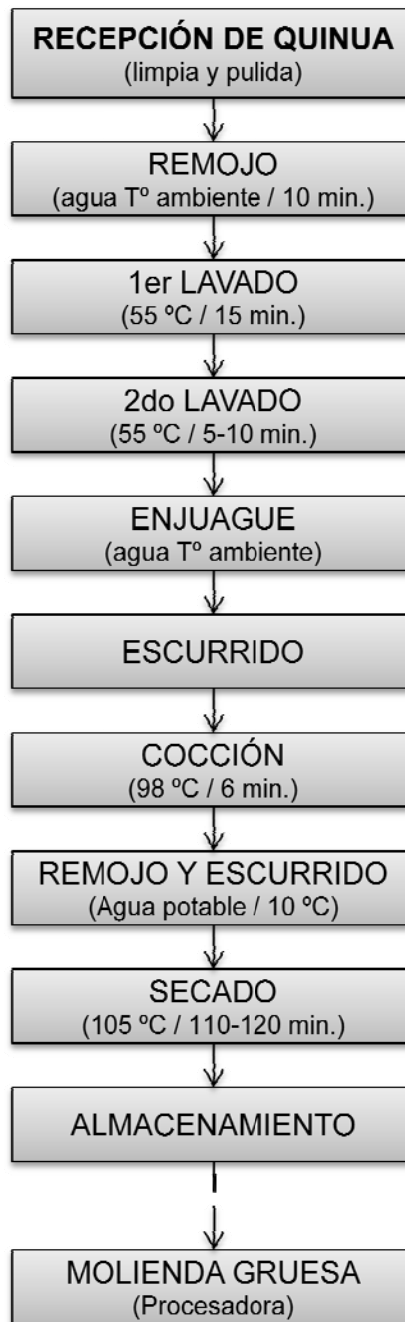
CAPÍTULO VI.

ANEXOS

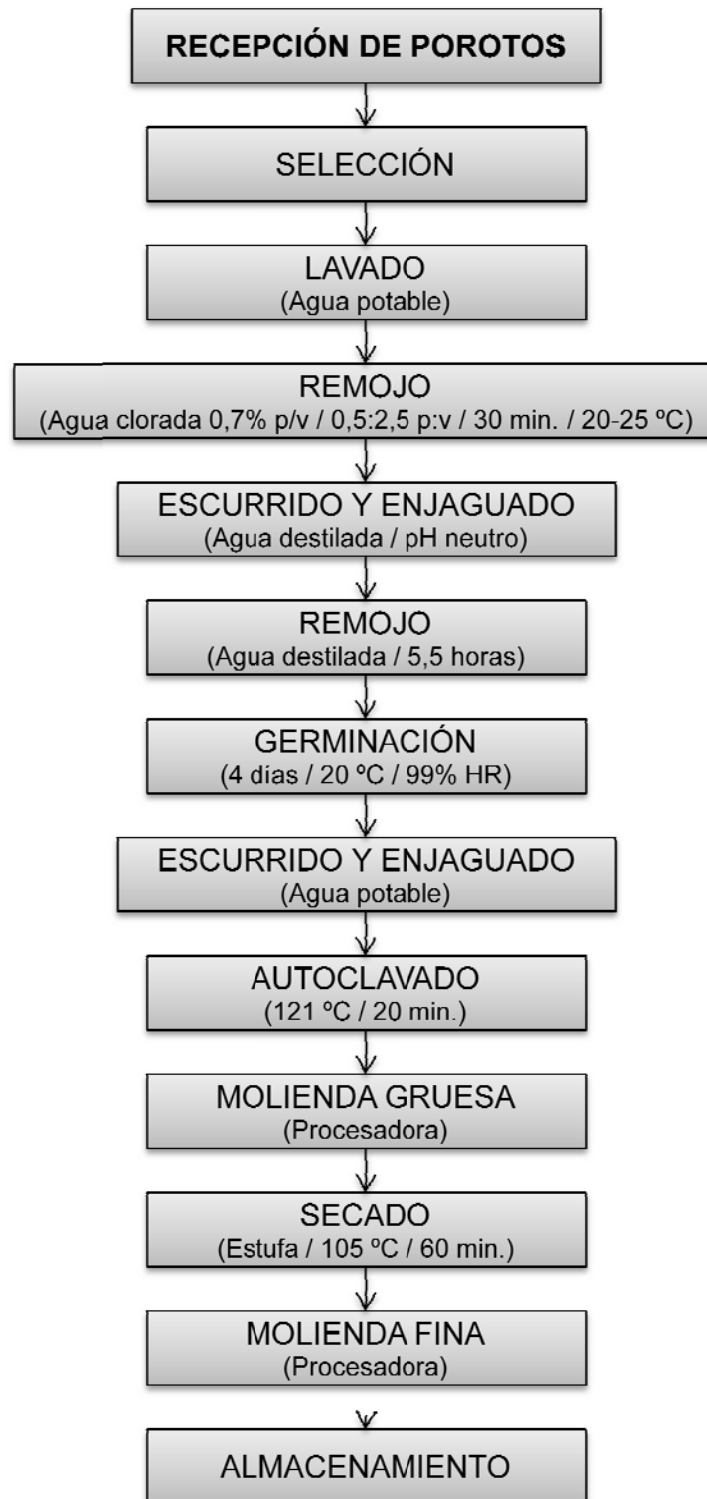
Anexo 1: Esquema de germinador de protos realizado en laboratorio.



Anexo 2: Diagrama de bloque del tratamiento realizado a la quinua.



Anexo 3: Diagrama de bloque del tratamiento realizado al los porotos.



Anexo 4: Formulaciones de las muestras para el set de ensayos 1.

	1		2		3		4		5		6	
	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar
Dry Mix (62,7%)												
Quinoa	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1
Harina Poroto	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1	41,7	26,1
Almendra picada	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2
Fruta deshidratada	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2	8,3	5,2
	100	62,7	100	62,7	100	62,7	100	62,7	100	62,7	100	62,7

	1		2		3		4		5		6	
	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar	% Total Fase	% Total Bar
Binder (37,3%)												
Glucosa	65,2	24,3	58,7	21,9	52,2	19,4	45,6	17,0	39,1	14,6	32,6	12,2
Miel abeja	0,0	0,0	6,5	2,4	13,0	4,9	19,6	7,3	26,1	9,7	32,6	12,2
Azúcar morena	9,3	3,5	9,3	3,5	9,3	3,5	9,3	3,5	9,3	3,5	9,3	3,5
Materia grasa	5,0	1,9	5,0	1,9	5,0	1,9	5,0	1,9	5,0	1,9	5,0	1,9
Lecitina de soya	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2
Sal	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2
Flavor	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3
Agua	18,7	7,0	18,7	7,0	18,7	7,0	18,7	7,0	18,7	7,0	18,7	7,0
	100	37,3	100	37,3	100	37,3	100	37,3	100	37,3	100	37,3

Anexo 5: Formulaciones de las muestras para el set de ensayos 2.

	1		2		3		4		5	
	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra
Dry Mix										
Quinua	41,7	27,1	41,7	26,0	41,7	25,0	41,7	24,0	41,7	22,9
Harina Poroto	41,7	27,1	41,7	26,0	41,7	25,0	41,7	24,0	41,7	22,9
Almendra picada	8,3	5,4	8,3	5,2	8,3	5,0	8,3	4,8	8,3	4,6
Fruta deshidratada	8,3	5,4	8,3	5,2	8,3	5,0	8,3	4,8	8,3	4,6
	100,0	65,0	100,0	62,5	100,0	60,0	100,0	57,5	100,0	55,0

	1		2		3		4		5	
	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra	% Total Fase	% Total Barra
Binder										
Glucosa	52,2	18,3	52,2	19,6	52,2	20,9	52,2	22,2	52,2	23,5
Miel abeja	13,0	4,6	13,0	4,9	13,0	5,2	13,0	5,5	13,0	5,9
Azúcar morena	9,3	3,3	9,3	3,5	9,3	3,7	9,3	4,0	9,3	4,2
Materia grasa	5,0	1,8	5,0	1,9	5,0	2,0	5,0	2,1	5,0	2,3
Lecitina de soya	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2
Sal	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2
Flavor	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,4	0,9	0,4
Agua	18,7	6,5	18,7	7,0	18,7	7,5	18,7	7,9	18,7	8,4
	100,0	35,0	100,0	37,5	100,0	40,0	100,0	42,5	100,0	45,0

Anexo 6: Comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras para el set de ensayos 1. Muestra número 100 representa el patrón.

Contraste Múltiple de Rango para Fuerza según Muestra

Método: 95,0 porcentaje LSD			
Muestra	Frec.	Media	Grupos homogéneos
100	3	1184,11	X
3	3	1471,26	XX
4	3	1640,52	X
5	3	1703,27	X
2	3	2424,59	X
6	3	2443,04	X
1	3	2614,41	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	189,819	434,328
1 - 3	*1143,15	434,328
1 - 4	*973,893	434,328
1 - 5	*911,137	434,328
1 - 6	171,368	434,328
1 - 100	*1430,3	434,328
2 - 3	*953,336	434,328
2 - 4	*784,075	434,328
2 - 5	*721,319	434,328
2 - 6	-18,4502	434,328
2 - 100	*1240,48	434,328
3 - 4	-169,261	434,328
3 - 5	-232,017	434,328
3 - 6	*-971,786	434,328
3 - 100	287,147	434,328
4 - 5	-62,7562	434,328
4 - 6	*-802,525	434,328
4 - 100	*456,409	434,328
5 - 6	*-739,769	434,328
5 - 100	*519,165	434,328
6 - 100	*1258,93	434,328

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 14 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Anexo 7: Comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras para el set de ensayos 2. Muestra número 100 representa el patrón.

Contraste Múltiple de Rango para Fuerza según Muestra

Método: 95,0 porcentaje LSD			
Muestra	Frec.	Media	Grupos homogéneos
5	3	657,813	X
4	3	964,744	X
3	3	1299,23	X
2	3	1753,33	X
100	3	1864,36	X
1	3	2616,22	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	*862,886	207,32
1 - 3	*1316,99	207,32
1 - 4	*1651,47	207,32
1 - 5	*1958,41	207,32
1 - 100	*751,862	207,32
2 - 3	*454,106	207,32
2 - 4	*788,588	207,32
2 - 5	*1095,52	207,32
2 - 100	-111,024	207,32
3 - 4	*334,482	207,32
3 - 5	*641,413	207,32
3 - 100	*-565,131	207,32
4 - 5	*306,931	207,32
4 - 100	*-899,613	207,32
5 - 100	*-1206,54	207,32

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 14 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 5 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Anexo 8: Ficha de evaluación sensorial.

Evaluación Sensorial de Barra de Poroto Rojo y Quinua

Nombre:.....

Fecha:.....

1. Por favor sin probar las muestra evalúe las siguientes características según la escala correspondiente:

- **Aspecto General**

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta	Me gusta mucho

- **Olor**

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta	Me gusta mucho

- **Color**

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta	Me gusta mucho

- ¿Hay algo que le guste especialmente? Si----- No-----
 ¿Qué?.....
 ¿Hay algo que le disguste especialmente? Si----- No-----
 ¿Qué?.....

2. Por favor pruebe la muestra y evalúe las características según la escala correspondiente:

- **Textura**

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta	Me gusta mucho

- **Sabor**

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta	Me gusta mucho

- **Sabor Residual**

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta	Me gusta mucho

- ¿Hay algo que le guste especialmente? Si----- No-----
 ¿Qué?.....
 ¿Hay algo que le disguste especialmente? Si----- No-----
 ¿Qué?.....

¡Muchas Gracias!

Anexo 9: Cálculo detallado del contenido fenólico.

Peso Mtra.	Humedad	Aforo Ext.	Abs. 1	FD	Abs.	C (diluída)	[C]	[C]	[C]	[C] (bh)	[C] (bs)
g	g/100g	ml				ugEAG/ml	ugEAG/ml	mgEAG/ml	mgEAG	mgEAG/g	mgEAG/g
<i>Porotos Crudos</i>											
5,0777	9,93	25	0,56	1	0,55	392,857	392,857	0,393	9,821	1,934	2,147
5,0777	9,93	25	0,653	1	0,653	466,429	466,429	0,466	11,661	2,296	2,550

2,349

0,284

<i>Harina de Poroto</i>											
5,0934	5,29	25	0,331	1	0,331	236,429	236,429	0,236	5,911	1,160	1,225
5,0934	5,29	25	0,312	1	0,312	222,857	222,857	0,223	5,571	1,094	1,155

1,190

0,050

<i>Barra de Poroto</i>											
5,4463	11	25	0,281	1	0,281	200,714	200,714	0,201	5,018	0,921	1,035
5,4463	11	25	0,318	1	0,318	227,143	227,143	0,227	5,679	1,043	1,172

1,103

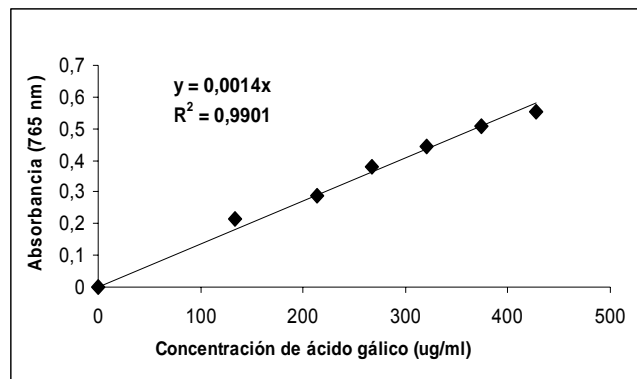
0,096

<i>Quinua (cocida secada)</i>											
5,0272	15,7	25	0,298	1	0,298	212,857	212,857	0,213	5,321	1,059	1,256
5,0272	15,7	25	0,299	1	0,299	213,571	213,571	0,214	5,339	1,062	1,260

1,258

0,003

$$\text{Concentración (ugEAG/mL)} = \frac{\text{Absorbancia (a 517nm)}}{0,0014}. \quad (\text{pendiente})$$



⁴ Curva realizada por la alumna de doctorado Paula Jiménez (2008).

Anexo 10: Cálculo detallado de la actividad antioxidante (IC₅₀ y % RSA).

Cálculo de la concentración de la muestra analizada en mg de muestra/mL

	Peso Mtra. g (húmeda)	Aforo Ext. ml	[C] g/ml	[C] mg/ml
Porotos Crudos	5,0777	25	0,203	203,108
Harina de Poroto	5,0934	25	0,204	203,736
Barra de Poroto	5,4463	25	0,218	217,852
Quinoa	5,0272	25	0,201	201,088

Posteriormente las muestras a analizar se prepararon en base a alícuotas según tablas respectivas y se aforaron a un volumen final de 5 ml. Después se calculó la concentración de cada muestra en mg de muestra/mL y se graficó según la decoloración del DPPH, para obtener la ecuación respectiva.

Ecuaciones según Regresiones lineales mostradas en la página siguiente.

Poroto Crudo	Decoloración 1 = 1,115 + 0,89317*Concentración	Decoloración 2 = 2,16 + 0,89253*Concentración
Harina de Poroto	Decoloración 1 = -12,49 + 0,487431*Concentración	Decoloración 2 = -15,6929 + 0,517476*Concentración
Quinoa Procesada	Decoloración 1 = 2,04486 + 0,193079*Concentración	Decoloración 2 = -1,04405 + 0,218503*Concentración
Barra de Poroto	Decoloración 1 = 0,184 + 0,389163*Concentración	Decoloración 2 = -1,657 + 0,396095*Concentración

IC ₅₀	IC ₅₀ (mg/mL)		IC50	Desv. Estan.
Porotos Crudos	54,7	53,6	54,2	0,8
Harina de Poroto	128,2	126,9	127,6	0,9
Quinoa (cocida+secada)	248,4	233,6	241,0	10,4
Barra Snack	128,0	130,4	129,2	1,7

% RSA	C. (mg/mL)	Decoloración DPPH (%)			Para 100%
		Primero	Segundo	Promedio	
Porotos Crudos	100	90,43	91,41	90,92	9,08
Harina de Poroto	100	36,25	36,05	36,15	63,85
Quinoa (cocida+secada)	100	21,35	20,81	21,08	78,92
Barra Snack	100	39,10	37,95	38,53	61,47

1	control	0,563	POROTO CRUDOS
\square (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
20,311	0,5	0,467	19,20
40,622	1	0,36	37,72
60,932	1,5	0,253	55,06
81,243	2	0,147	73,89
101,554	2,5	0,113	79,93
121,865	3	0,093	83,48
142,176	3,5	0,092	83,66

2	control	0,563	
\square (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
20,311	0,5	0,464	19,72
40,622	1	0,356	38,41
60,932	1,5	0,235	58,26
81,243	2	0,149	73,53
101,554	2,5	0,107	80,99
121,865	3	0,089	84,19
142,176	3,5	0,092	83,66

1	control	0,600	QUINUA
\square (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
60,326	1,5	0,526	12,33
80,435	2	0,49	18,33
100,544	2,5	0,471	21,50
120,653	3	0,436	27,33
140,762	3,5	0,431	28,17
201,088	5	0,354	40,50

2	control	0,600	
\square (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
60,326	1,5	0,531	11,50
80,435	2	0,509	15,17
100,544	2,5	0,468	22,00
120,653	3	0,44	26,67
140,762	3,5	0,418	30,33
201,088	5	0,346	41,85

Regresión simple Poroto

Sección lineal

Modelo Lineal

$$Y = a + b \cdot X$$

Coefficiente de Correlación = 0,999884

R-cuadrado = 99,9769 porcentaje

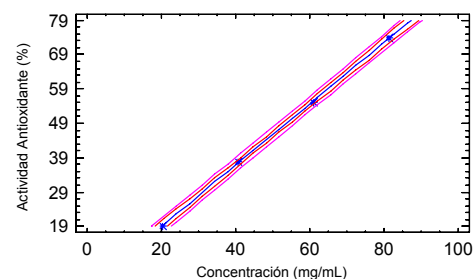
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9653 porcentaje

Error estándar de est. = 0,436159

Error absoluto medio = 0,267

Estadístico de Durbin-Watson = 3,3116 (P=0,0000)

Ajuste para la Decoloración del DPPH v/s Concentración



$$\text{Decoloración 1} = 1,115 + 0,89317 \cdot \text{Concentración}$$

Regresión simple Quinua

Modelo Lineal

$$Y = a + b \cdot X$$

Coefficiente de Correlación = 0,99441

R-cuadrado = 98,8851 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,6063 porcentaje

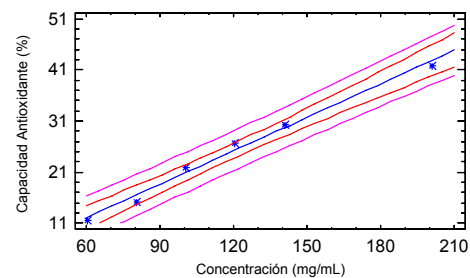
Error estándar de est. = 1,29534

Error absoluto medio = 1,01436

Estadístico de Durbin-Watson = 1,46525 (P=0,0711)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,155853

Ajuste para la Decoloración del DPPH v/s Concentración



$$\text{Decoloración 2} = -1,04405 + 0,218503 \cdot \text{Concentración}$$

1	control	0,565	HARINA POROTO
□ (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
61,121	1,5	0,467	17,35
81,494	2	0,404	28,50
101,87	2,5	0,356	36,99
122,242	3	0,302	46,55
142,615	3,5	0,267	52,74
162,989	4	0,244	71,23
183,362	4,5	0,201	76,30

2	control	0,565	
□ (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
61,121	1,5	0,473	16,28
81,494	2	0,410	27,43
101,87	2,5	0,364	35,58
122,242	3	0,304	46,19
142,615	3,5	0,245	56,64
162,989	4	0,215	74,65
183,362	4,5	0,202	76,18

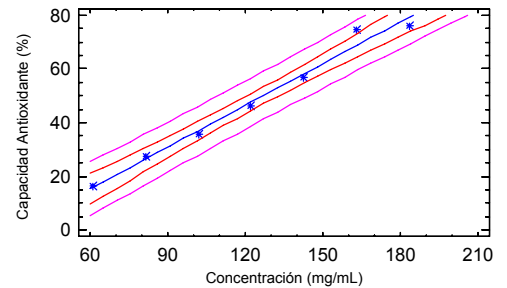
1	control	0,591	BARRA SNACK
□ (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
65,356	1,5	0,443	25,04
87,141	2	0,386	34,69
108,926	2,5	0,334	43,49
130,711	3	0,297	49,75
152,496	3,5	0,237	59,90

2	control	0,591	
□ (mg/mL)	Alícuotas (mL)	abs	% decoloración DPPH
65,356	1,5	0,449	24,03
87,141	2	0,395	33,16
108,926	2,5	0,34	42,47
130,711	3	0,307	48,05
152,496	3,5	0,238	59,73

Regresión simple Harina Poroto

Modelo Lineal
 $Y = a + b \cdot X$
 Coeficiente de Correlación = 0,991715
 R-cuadrado = 98,3498 porcentaje
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,0198 porcentaje
 Error estándar de est. = 3,23172
 Error absoluto medio = 2,08449
 Estadístico de Durbin-Watson = 2,74028 (P=0,0372)
 Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,45819

Ajuste para la Decoloración de DPPH v/s Concentración

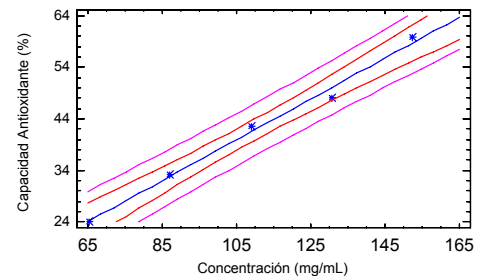


$$\text{Decoloración 2} = -15,6929 + 0,517476 \cdot \text{Concentración}$$

Regresión simple Barra Snack

Modelo Lineal
 $Y = a + b \cdot X$
 Coeficiente de Correlación = 0,995773
 R-cuadrado = 99,1563 porcentaje
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,8751 porcentaje
 Error estándar de est. = 1,45323
 Error absoluto medio = 0,9068
 Estadístico de Durbin-Watson = 3,04936 (P=0,0039)
 Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,604252

Ajuste para la Decoloración del DPPH v/s Concentración



$$\text{Decoloración 2} = -1,657 + 0,396095 \cdot \text{Concentración}$$

Anexo 11: Cálculo teórico del perfil de aminoácidos de la proteína en la barra de quinua y poroto.

1. Composiciones proximales utilizadas.

(g/100g)	Agua	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra	Ceniza
Quinua						
Cocida-secada	15,0	11,0	5,1	63,8	2,7	2,4
Porotos						
Cocidos (freeze-dried)	5,3	22,1	2,5	59,9	6,3	4,0

Fuente: FAO (2008). Valores de quinua cocida ajustados a humedad de 15%.
Almeida Costa y cols. (2006)

2. Aporte de proteína por materia prima, considerando como fuentes de proteína en la barra solamente la quinua y el poroto.

Aporte proteína (g/100g)		
Poroto	Quinua	Barra
8,8	4,3	13,1

3. Perfil de aminoácidos esenciales de las materias primas (quinua y poroto).

Aminoácidos		Porotos		Quinua	
		Crudos	T.T.	Integral	87 °C
(g/100g proteína)					
Isoleucina	Ile.	4,43	4,88	3,8	4,7
Leucina	Leu.	7,61	7,84	7,2	10,1
Lisina	Lis.	6,29	6,52	6,8	8,8
Metionina + cisteína	AAST	1,11	1,20	2,0	2,8
Fenilalanina + tirosina	AAAT	5,62	5,54	6,2	8,3
Treonina	Tre.	4,30	4,43	3,7	5,2
Triptófano	Trp.	1,15	1,22	0,9	1,2
Valina	Val.	5,27	5,65	4,8	5,9
Histidina	His.	2,71	3,06	2,8	3,3

Fuente: Trugo y cols. (2000). T.T.: tratamiento térmico, en agua a ebullición por 20 minutos.
FAO (2008)

4. Perfil de aminoácidos esenciales de la barra de quinua y poroto.

Aminoácidos		Barra de quinua y poroto		
		g/100g producto	g/100g proteína	g/porción (25g)
Isoleucina	Ile.	0,6	4,8	0,2
Leucina	Leu.	1,1	8,6	0,3
Lisina	Lis.	1,0	7,3	0,2
Metionina + cisteína	AAST	0,2	1,7	0,1
Fenilalanina + tirosina	AAAT	0,8	6,5	0,2
Treonina	Tre.	0,6	4,7	0,2
Triptófano	Trp.	0,2	1,2	0,0
Valina	Val.	0,7	5,7	0,2
Histidina	His.	0,4	3,1	0,1

Anexo 12: Cálculo del índice de calidad de la proteína de la barra de poroto y quinua, e ingesta de proteína de producto requerida.

1. Puntaje de la proteína de la barra de quinua y poroto en relación a los requerimientos de aminoácidos y proteínas para escolares y adultos.

Aminoácidos	Escolares	Adultos	Composición AAE barra	Ingesta escolares	Ingesta adultos
(mg/g de proteína)	10-12 años		(mg/g proteína)	(g/kg/día)	(g/kg/día)
Isoleucina	28	13	48,3	0,6	0,3
Leucina	44	19	85,9	0,5	0,2
Lisina	44	16	72,7	0,6	0,2
Metionina + cisteína	22	17	17,1	1,3	1,0
Fenilalanina + tirosina	22	19	64,5	0,3	0,3
Treonina	28	9	46,9	0,6	0,2
Triptófano	9	5	12,1	0,7	0,4
Valina	25	13	57,2	0,4	0,2
Histidina	19	16	31,4	0,6	0,5

Fuente: FAO (2008)

2. Índice de calidad proteínica de la barra de poroto y quinua.

Ingesta proteína recomendada	Escolares	Adultos
(g/kg)	1,0	0,75
Índice calidad proteínica		
%	77,1	75,6
Ingesta necesaria		
g/kg/día	1,3	1,0

Fuente: FAO (2008)

Anexo 13: Estudio acelerado de cambios de textura y actividad de agua

Medición	Tiempo (días)	a_w	Promedio (3)
			Fuerza Max. (N)
1	0	0,533	1554,97
2	3	0,53	1652,93
3	7	0,529	1717,94
4	10	0,53	1729,14
5	14	0,528	1954,91
6	17	0,527	1996,55
7	21	0,515	2406,28
8	24	0,51	2424,59
9	28	0,507	2973,46