



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPTO. DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA QUÍMICA

Harina y aceite de quínoa (*Quenopodium quinoa* Willd.) de la región VI

Eduardo S. Castro Montero
Profesor Adjunto
Ingeniero Civil de Industrias mención Química (PUC)
Magíster en Ciencias de Alimentos (U. de Chile)

2010

DEDICATORIA

*Dedicado a Patricia del Carmen Bravo Rivera, por
todo lo que me ha aportado en la vida.*

E. Castro Montero

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Constanza Barahona San Martín por todo el esfuerzo aportado para realizar este trabajo.

PRÓLOGO

Esta recopilación es de los trabajos realizados en el Proyecto FIA “Desarrollo de harina de quínoa orgánica de alta calidad como una alternativa de consumo y de producción sustentable” bajo la dirección del que suscribe y de la colega Lilian Abugoch James. Además están los trabajos de memoristas que trabajaron desarrollando nuestras ideas y los resultados logrados son un valioso aporte para Chile y su desarrollo. Creo que es un aporte al desarrollo sustentable de Chile debido a las características agrícolas y nutricionales de la quínoa.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
PROLOGO	4
ÍNDICE	5
PROYECTO	8
CAPITULO I. El grano de quínoa	10
1.1 Quínoa orgánica de la Región VI	10
1.2 Caracterización químico-proximal de los granos de quínoa	10
1.3 Calidad del grano de quínoa	13
1.4 Determinación del contenido de humedad óptima del grano de quínoa para la obtención de harina.	13
1.5 Contenido de minerales de los granos de quínoa	14
1.6 Vida útil de los granos de quínoa	15
CAPÍTULO II. Harina de quínoa	18
2.1 Desarrollo del diseño experimental para el proceso de obtención de harina de quínoa.	18
2.1.1 Efecto de las variables sobre el rendimiento de obtención de harina y optimización del proceso	19
2.1.2 Análisis de varianza para el rendimiento de obtención de harina	19
2.2 Proceso de obtención de harina de quínoa.	23
2.2.1 Descripción del diagrama de bloques	23
2.3 Caracterización químico-proximal de las harinas de los diferentes ecotipos de quínoa.	27
2.4 Composición de aminoácidos en las harinas de quínoa de las diferentes localidades	28
2.5 Actividad de agua de la harina de quínoa	30
2.6 Fitoestrógenos en harina de quínoa	31
2.7 Contenido de fibra cruda en harina de quínoa	32

2.8 Análisis Microbiológicos de la harina de quínoa	33
2.9 Determinación de la vida útil de las harinas de las diferentes localidades	34
2.9.1 Evolución del porcentaje de humedad de harina de quínoa de diferentes localidades.	34
2.9.2 Evolución del índice de peróxidos en la harina de quínoa de diferentes localidades a través del tiempo a tres temperaturas.	36
2.9.3 Propiedades texturales y reológicas de las harinas de quínoa de las diferentes localidades.	39
2.10 Contenido de Proteínas Totales de la harina de quínoa	43
2.11 Caracterización Térmica de las Proteínas (DSC)	44
2.12 Vida útil de las harinas desde el punto de vista de las proteínas.	45
2.12.1 Caracterización bioquímica de las Proteínas	45
2.12.1.1 PAGE nativo:	45
2.12.1.2 PAGE- SDS Electroforesis desnaturalizante de harina de quínoa:	46
2.13 Actividad de agua de harina de quínoa	51
2.14 Espectroscopia UV de harina de quínoa	53
2.15 Fluorescencia en harina de quínoa.	55
2.16 Actividad Proteolítica harina de quínoa	57
2.17 Propiedades funcionales de hidratación de proteínas en la harina de quínoa	58
2.17.1 Capacidad de retención de agua:	58
2.17.2 Solubilidad de las proteínas en las harinas de quínoa de las diferentes localidades.	61
CAPÍTULO III. Aceite de quínoa	64
3.1 Obtención de aceite de quínoa.	64
3.1.1 Procedimiento de obtención de aceite de quínoa mediante extracción con solvente.	65
3.1.2 Rendimiento de obtención de aceite	67
3.2 Caracterización del aceite de quínoa	68
3.2.1 Cromatografía gaseosa del aceite de quínoa	71
3.2.2 Insaponificable de aceite de quínoa	74
3.3 Estudio de estabilidad del aceite de quínoa	75

3.3.1 Estudio del cambio químico en el tiempo del aceite de quínoa proveniente de la zona de Paredones.	75
3.3.1.1 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones a las 3 temperaturas de almacenamiento.	75
3.3.1.1.1 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 40°C.	77
3.3.1.1.2 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 30°C.	77
3.3.1.1.3 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 20°C.	78
3.3.1.2 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones a las 3 temperaturas de almacenamiento.	79
3.3.1.2.1 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 40°C.	80
3.3.1.2.2 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 30°C.	81
3.3.1.2.3 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 20°C.	81
BIBLIOGRAFIA	82

Proyecto

Desarrollo de harina de quínoa orgánica de alta calidad como una alternativa de consumo y de producción sustentable”

FIA SUB-ES-C-2004-1-A-15

- Agente postulante** : -Representante legal
Luis Nuñez Vergara
Decano Facultad de Cs. Químicas y Farmacéuticas
Universidad de Chile
- Agente asociado** : -Representante legal
Vanessa Arevalo Sciaraffie
Econur Ltda.
-Representante legal
Pablo Rafael Jara Valdivia
Broker
-Representante legal
Ricardo Valdebenito Gonzalez
Gerente Cooperativa Las Nieves
- Coordinador estudio** : -Eduardo S. Castro Montero
Académico j/c Facultad Cs. Qcas. y Farmacéuticas,
Universidad de Chile
- Coordinador alterno** : -Lilian E. Abugoch James
Académico j/c Facultad Cs. Qcas. y Farmacéuticas,
Universidad de Chile
- Grupo Técnico** : -María P. Araos Perez
Ingeniero en Alimentos
-Juany Bisbal Abarca
Econur Ltda.
-Paola Mabel Diaz Monrroy
Econur Ltda.
-Yolanda P. Rubio Zamora
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Giovanna Araneda Godoy
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-José L. Pajarito Parker
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Francisco J. Gonzalez Diaz
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Pilar Gajardo Repetto
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Andrea C. Villarroel Veliz
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Marcelo Vicencio Ahumada
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Conrado S. Camilo Manriquez
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

-Cecilia Andrea Olivares Quero
Memorista Ing. En Alimentos U. de Chile

CAPÍTULO I. El grano de quínoa

1.1 Quínoa orgánica de la Región VI

La quínoa objeto de este trabajo es de la cosecha del año 2004, proveniente de las localidades Matarredonda, Lo Palmilla y Paredones, de la Región VI.

Por lo tanto, son tres ecotipos de semilla de producción orgánica y que pueden ser no pulidas y pulidas mecánicamente en una máquina pulidora de arroz adaptada para trabajar con quínoa.

En este contexto los granos de quínoa que se presentan en este trabajo son Matarredonda sin pulir (MRSP), Matarredonda pulida (MRP), Lo Palmilla sin pulir (LPSP), Lo Palmilla pulida (LPP), y Paredones sin pulir (PSP).

1.2. Caracterización químico-proximal de los granos de quínoa

En la siguiente tabla se presenta la composición proximal de los granos de quínoa analizados.

Tabla 1. Composición proximal de granos de quínoa.

	MATAREDONDA <i>pulida</i>	MATAREDONDA <i>sin pulir</i>	PALMILLA <i>pulida</i>	PALMILLA <i>sin pulir</i>	PAREDONES <i>sin pulir</i>
Humedad	13,22	12,36	11,64	11,30	12,17
Proteínas	13,94	14,06	14,20	13,83	11,57
Lípidos	6,50	6,50	6,40	6,55	6,1
Carbohidratos	60,69	61,78	64,65	62,79	65,99
Cenizas	3,01	3,62	1,79	2,46	2,17
Fibra Cruda	2,9	2,08	1,32	3,07	2
Valor Energético (kcal/100g)	355,98	360,26	373,00	365,43	365,14

(Olivares, 2005)

El contenido proteico de los granos de quínoa estudiados oscilan entre un 11,57% a 14,2%, siendo el con menor aporte la muestra del ecotipo de Paredones. Aún así, los promedios están por sobre los del trigo (11,5%), arroz (7,4%) y maíz (9,2%) informados por la FAO. El contenido proteico del ecotipo de Paredones (11,57%) está por debajo de lo informado por la FAO para el grano de quínoa (13,81%).

El contenido de proteínas para los granos sometidos a proceso de pulido para disminuir su contenido de saponinas, aumentó para el caso de la quínoa proveniente de Lo Palmilla en un 2,6%, mientras que la proveniente de Mata Redonda disminuyó en 0,85%. Esto se puede deber a que una hay una “mayor” cantidad de compuestos nitrogenados en la fracción eliminada para el caso de este último grano. En general, las variaciones son pequeñas y desde un punto de vista nutricional, no es de mayor importancia.

El contenido de humedad de los granos se ve afectado si el grano se encuentra pulido o no. El perigonio y el pericarpio mantienen al grano con una humedad más baja, que el grano sometido a pulido. De todas maneras el grano se encuentra dentro de la humedad apropiada, la que no debe ser superior al 16%.

El contenido lipídico para el ecotipo de Mata Redonda no se vio afectado por el proceso de pulido, en el caso de Lo Palmilla, el proceso de pulido disminuyó en un 2,3% el contenido de lípidos. Paredones presentó un 6,1% de lípidos. Todos los ecotipos están dentro de los valores descritos por autores como Oshodi et al. (1999) y Ogungbenle (2003), además de los presentados por la FAO.

El contenido de cenizas de los granos claramente se vio afectado por el proceso de pulido. Los granos provenientes de la localidad de Mata Redonda sin pulir presentan un contenido mineral un 32% mas alto que el proveniente de Lo Palmilla y un 40% por sobre el valor mineral de Paredones.

Para establecer la calidad del grano se determinaron los calibres, las impurezas, porcentaje de germinación y el contenido de saponinas.

El ecotipo Mata Redonda pulida (MRP) tiene calibre superior a los otros ecotipos. El ecotipo Mata Redonda sin pulir (MRSP) presenta la mayor cantidad y el ecotipo Lo Palmilla pulida (LPP) la más baja.

Desde el punto de vista de germinación, el ecotipo MRP presenta el 98% la más baja de los ecotipo estudiados.

El pulido baja el contenido de saponinas y el ecotipo LPP fue el que presentó el valor más bajo y en el caso de los granos sin pulir el ecotipo PSP presentó el valor más bajo.

La quínoa se caracteriza por su alto contenido en fibra. Según Oshodi et al. (1999) y Ogungbenle (2003) el contenido de fibra del grano de quínoa proveniente de Canadá lavado y secado, es de 9,6 y 9,5 respectivamente. Para el grano proveniente de los ecotipos en estudio el contenido es bastante bajo en comparación a lo mencionado por los autores anteriores. Claramente el contenido de fibra se vio afectado por el proceso de pulido para el grano proveniente de Lo Palmilla. El contenido de fibra se ve disminuido en un 57%. Para el caso de Mata Redonda, el grano pulido aumenta su contenido en un 28,3%, lo que se podría explicar diciendo que parte del contenido de fibra se encuentra en la fracción eliminada. Paredones presenta un contenido de fibra cruda de un 2%. Todos los valores se encuentran por debajo de los descritos por Albarrán, 1993 (3,3%), Ogungbenle, 2003 (9,5%) y Oshodi et al, 1999 (9,6%).

Los valores de contenido de carbohidratos están por sobre (60,9%) lo citado por Peralta (1985), para el grano con y sin pulido. Por efecto de la eliminación de las saponinas se produjeron variaciones del 1,76% de disminución en el grano de Mata Redonda y un aumento del 2,88% para el caso de Lo Palmilla.

El aporte energético de los granos es de 365 kcal/100g en promedio.

1.3. Calidad del grano de quínoa

En la tabla siguiente se presentan los datos de calidad del grano de quínoa.

Tabla 2. Calidad del grano de quínoa

	MATAREDONDA <i>pulida</i>	MATAREDONDA <i>sin pulir</i>	PALMILLA <i>pulida</i>	PALMILLA <i>sin pulir</i>	PAREDONES <i>sin pulir</i>
Calibres (mm)	1,73 (+/- 0,09)	1,78 (+/- 0,09)	1,82 (+/-0,11)	1,85 (+/- 0,05)	1,86 (+/- 0,07)
Impurezas (%)	0,15 (+/-0,02)	0,3 (+/-0,01)	0	0,22 (+/- 0,01)	0,11 (+/- 0,01)
Germinación (%)	98,3(+/-0,58)	99,7(+/-0,58)	100	100	99,6(+/-0,58)
Saponinas (%)	0.24(+/-0,02)	0.37(+/-0,03)	0.024(+/-0,01)	0.21(+/-0,02)	0.082(+/-0,00)

(Olivares, 2005)

1.4. Determinación del contenido de humedad óptima del grano de quínoa para la obtención de harina.

A partir del método de determinación de humedad se encontró que el grano de quínoa presentaba un porcentaje de humedad promedio que va desde 12,17 hasta 12,36% en b.s, con un 95% de confianza. Los resultados de la determinación de humedad para los distintos granos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 3. Contenido de humedad en el grano de quínoa para 3 ecotipos.

Muestra	PSP	MRP	MRSP	LPSP	LPP
1	12,09	13,17	12,27	11,30	11,64
2	12,25	13,27	12,45	11,89	11,92
3	12,25	13,27	12,45		
Promedio	12,17 ± 0,08	13,22 ± 0,05	12,36 ± 0,09	11,60± 0,42	11,78± 0,20

(Olivares, 2005)

1.5 Contenido de minerales de los granos de quínoa.

Los resultados de las determinaciones de minerales en las semillas de los ecotipos estudiados fueron los siguientes:

Tabla 4. Composición de minerales del grano de quínoa

<i>Análisis</i>	<i>MRSP</i>	<i>LPSP</i>	<i>PSP</i>
Fosforo g/100g	0,43	0,29	0,26
Cadmio mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2
Calcio mg/kg	580	460	545
Hierro mg/kg	57	58	56
Sodio mg/kg	340	230	205
Cobre mg/kg	3,0	4,7	4,1
Potasio mg/kg	1184	707	1142
Magnesio mg/kg	240	170	230
Manganeso mg/kg	32	28	38
Zinc mg/kg	40	31	30
Litio mg/1kg	<0,5	<0,5	<0,5

(Olivares, 2005; Araneda, 2005)

Hay que destacar la presencia de litio y la de calcio con zinc que hace más asimilable el calcio.

1.6 Vida útil de los granos de quínoa

Se estudio la acidez proveniente del deterioro del aceite en los granos, dado que este parámetro de control era el más revelador en cuanto a deterioro durante el almacenamiento.

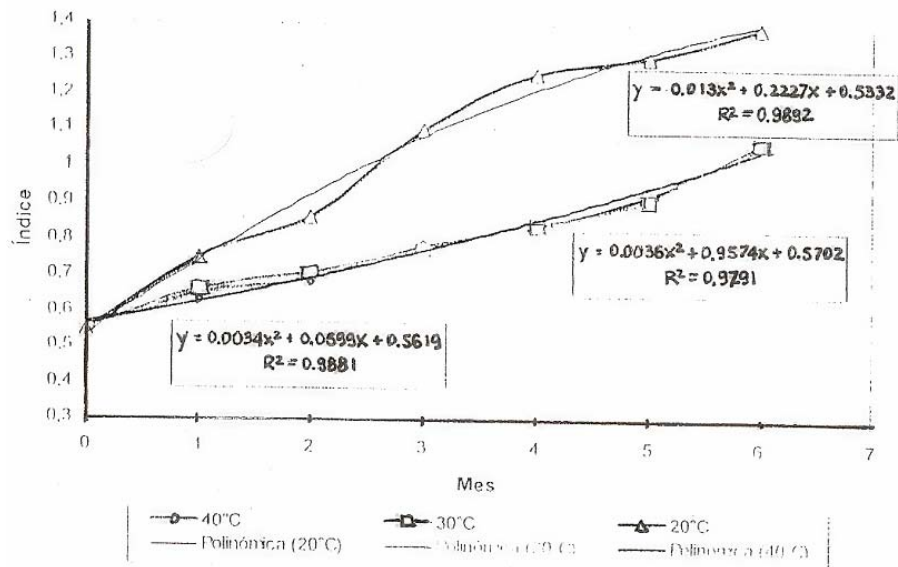


Figura 1. Acidez grano proveniente de la localidad de Matarredonda sin pulir (Rubio, 2005).

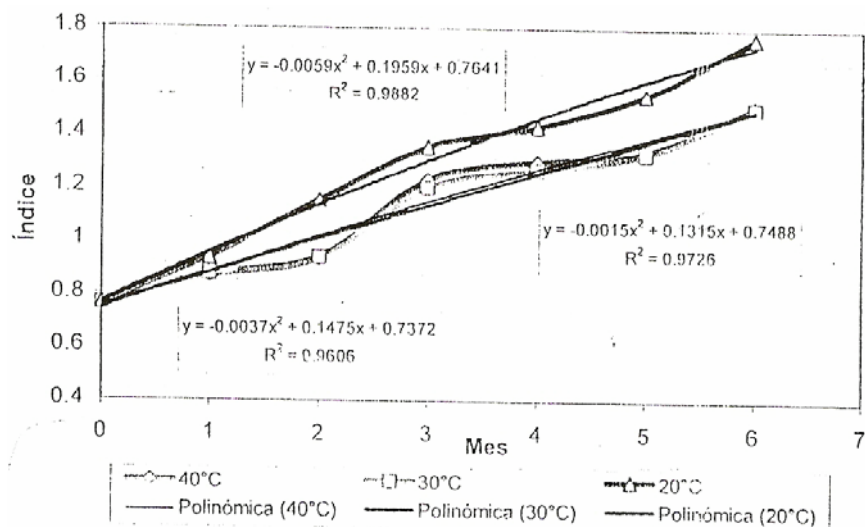


Figura 2. Acidez grano proveniente de la localidad de Matarredonda pulida (Rubio, 2005).

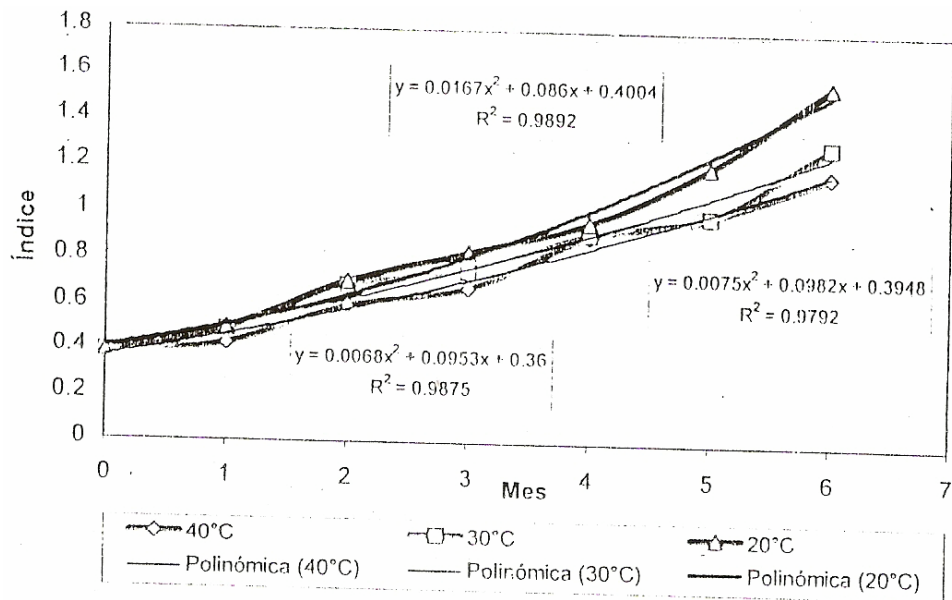


Figura 3. Acidez grano proveniente de la localidad de Lo Palmilla sin pulir (Rubio, 2005).

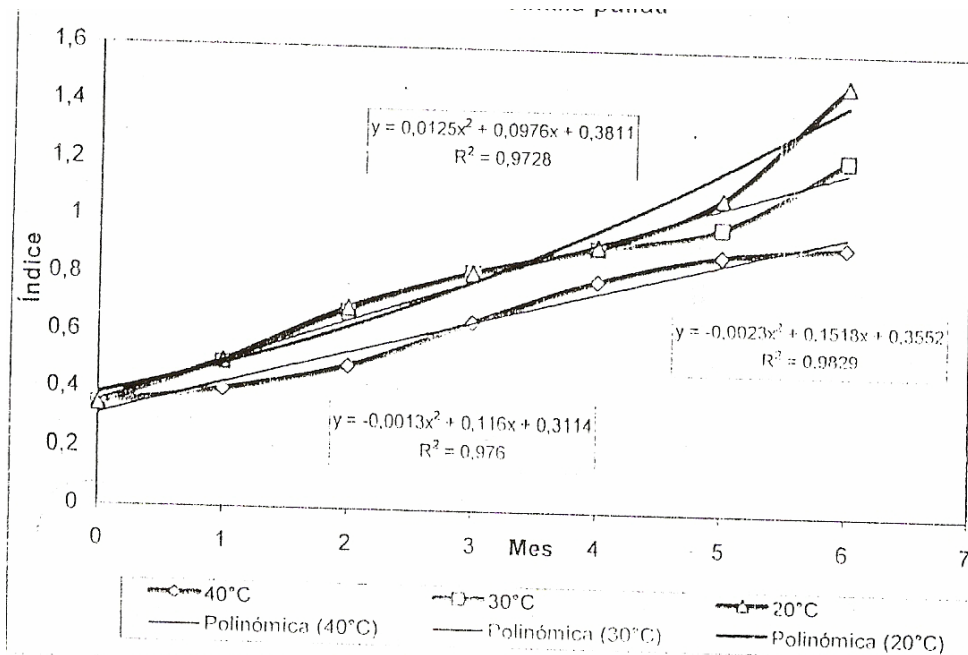


Figura 4. Acidez grano proveniente de la localidad de Lo Palmilla pulida (Rubio, 2005)

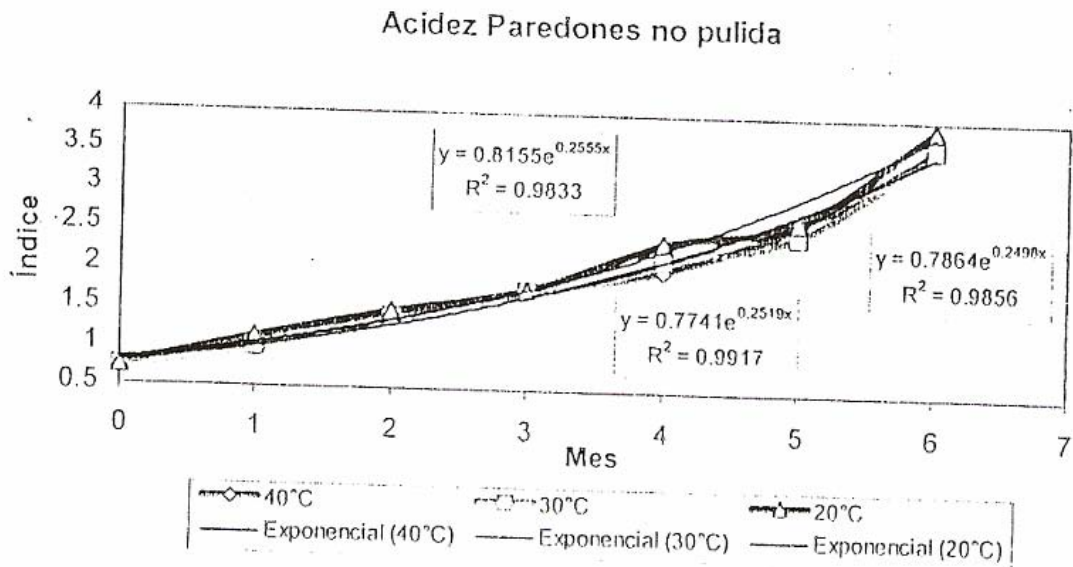


Figura 5. Acidez grano proveniente de la localidad de Paredones sin pulir (González, 2005)

Se puede observar en los datos de acidez estudiados entre los ecotipos, Paredones se escapa del comportamiento inicial, esto hace suponer que este grano ya traía un deterioro inicial, que fue corroborado por el estudio tanto a 20,30 y 40°C, dado que los valores finales obtenidos para esta localidad llegan a valores no comercializables. Además estos valores presentan una tendencia exponencial en su comportamiento independiente de la temperatura. Por otra parte las restantes localidades presentan valores bastante menores y todavía en condiciones de comercializar, se observa además que a menor temperatura estos valores de acidez son menores tendiendo a aumentar en forma exponencial a temperaturas mayores como 40°C, según González (2005) . Es conveniente asegurar un almacenamiento de los granos por debajo de los 30°C, ojalá sea a 20°C, de ese modo se podría asegurar su buena calidad para el consumo.

CAPÍTULO II. Harina de quínoa

2.1 Desarrollo del diseño experimental para el proceso de obtención de harina de quínoa.

Se utilizó un diseño experimental para definir un conjunto de experimentos que permitieran definir las condiciones óptimas de obtención de la harina de quínoa. De acuerdo a las variables que se utilizaron para desarrollar el diseño experimental, señaladas en la Tabla 5, y considerando el proceso de obtención de harina, se realizaron los 11 experimentos requeridos por el diseño y sus resultados se resumen en la Tabla siguiente.

Tabla 5. Resultado del diseño experimental.

	VARIABLES	INDEPENDIENTES	VARIABLE RESPUESTA
Pruebas	X ₁	X ₂	RENDIMIENTO
1	-1 (50°C)	-1 (60 mallas)	30,4
2	0 (60°C)	-1	32,24
3	1 (70°C)	-1	38,24
4	-1	0 (80 mallas)	32,8
5	0	0	1,04
6	1	0	10,8
7	-1	1 (100 mallas)	4,88
8	0	0	0,8
9	1	0	0,48
10	0	0	12,78
11	0	0	11,36

(Araneda, 2005)

Donde:

Las variables independientes son:

X₁: Temperatura de secado en °C.

X₂: Número de malla.

La variable dependiente es:

Rendimiento

2.1.1 Efecto de las variables sobre el rendimiento de obtención de harina y optimización del proceso

A partir del análisis de varianza ANOVA, indicado en la Tabla 6 para la variable "Rendimiento" se estableció que sólo una de las dos variables señaladas anteriormente fueron significativas ($p \leq 0,05$), esta variable fue el mallaje el cual se ve reflejado en el gráfico de Pareto que se muestra más adelante (Figura 1).

2.1.2 Análisis de varianza para el rendimiento de obtención de harina

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable rendimiento.

Efecto	Suma. Cuadrado	G.L	Media Cuadrática	Valor F	Valor P
X ₁ : Temperatura	57,4123	1	57,4123	1,29	0,3083
X ₂ : Granulometría	1495,31	1	1495,31	33,48	0,0022
X ₁ ²	68,0307	1	68,0307	1,52	0,2720
X ₁ ·X ₂	37,4544	1	37,4544	0,84	0,4018
X ₂ ²	0,0242	1	0,0242	0,00	0,9823
Error Total	223,31	5	44,662		
R² = 88,1597			R² = ajustado:	76,3194	

(Araneda, 2005)

El rendimiento de obtención se puede analizar en el gráfico de Pareto siguiente.

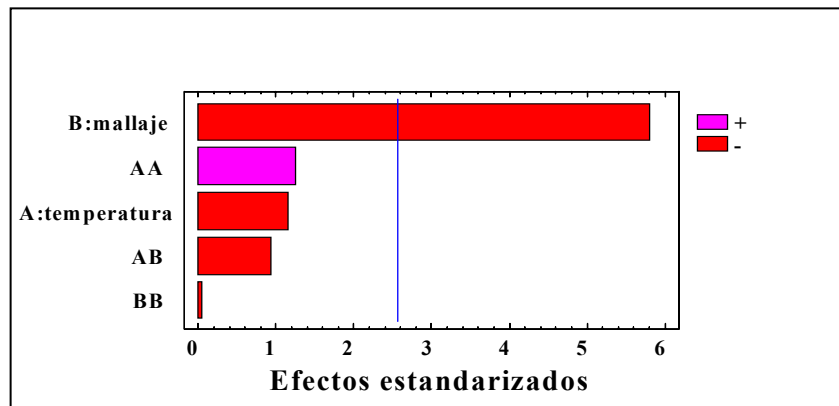


Figura 6. Gráfico de Pareto para el “Rendimiento de obtención” (Araneda, 2005)

A continuación se muestra la ecuación que describe el rendimiento de obtención de harina con respecto a la variable significativa del diseño con sus respectivos coeficientes de correlación:

$$\text{Rendimiento de obtención (\%)} = 80,403 - 0,789 * \text{mallaje}$$

(Araneda, 2005)

La Figura 7 muestra la gráfica de la Superficie de Respuesta, la cual muestra el efecto del mallaje en el “Rendimiento de obtención” para los distintos experimentos del diseño experimental descrita por la ecuación citada anteriormente.

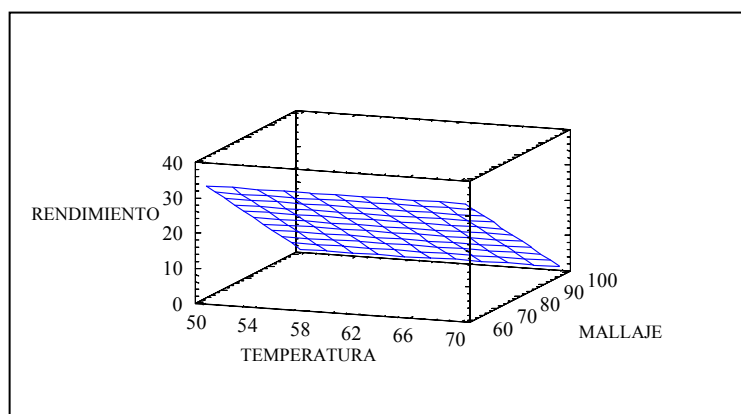


Figura 7. Superficie de Respuesta para Rendimiento de obtención (Araneda, 2005)

Se puede observar que a medida que disminuye el mallaje el rendimiento de obtención de harina aumenta hasta un valor óptimo.

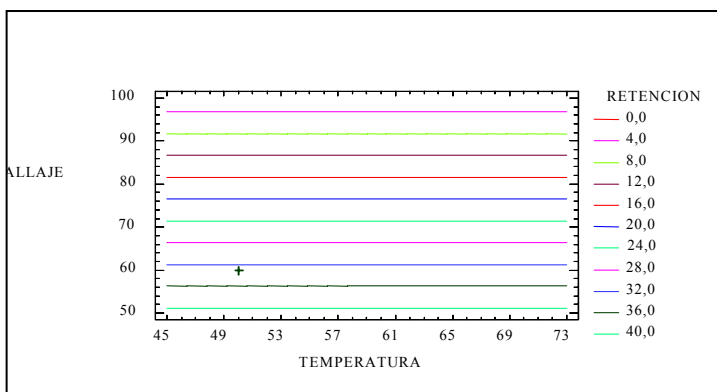


Figura 8. Gráfico de Superficie de Contorno para el “Rendimiento de obtención” (Araneda, 2005)

En la Figura 8, se observa el valor óptimo para las variables mallaje y temperatura. Se puede observar que para obtener un rendimiento óptimo la temperatura debe ser de 50°C y el mallaje de 60 mallas.

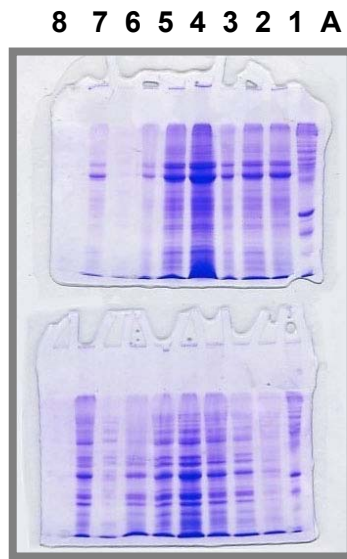
Tabla 7. Resultados de optimización mediante Superficie de Respuesta para “Rendimiento de obtención”

Factor	Mínimo	Máximo	Óptimo
Temperatura	50	70	50
Mallaje	60	100	60
	Máximo Rendimiento		33,043 %

(Araneda, 2005)

En la Tabla 7, se observa que los valores óptimos para obtener el mejor rendimiento son 50 °C y 60 mallas, por lo que se usaron estas condiciones para obtener la harina de quínoa y realizar posteriormente su caracterización y estudio de vida útil.

En esta etapa se recurrió a análisis de los perfiles de polipéptidos de las proteínas para corroborar que la selección de la molienda era la adecuada. Los resultados de la caracterización bioquímica de los perfiles proteicos desarrollados se muestran en las siguientes electroforesis:



A) Estándar de alto peso molecular

- 1) Molino de Bola
- 2) Molino cuchilla doméstico
- 3) Harina comercial
- 4) Molino martillo malla 42
- 5) Molino cuchilla + molino malla 80,7
- 6) Harina Tostada
- 7) Suero de leche de quínoa
- 8) Leche de quínoa

Figura 9. Electroforesis de proteínas (Villarrol, 2005)

En la Figura 9 de electroforesis de proteínas se puede observar que los perfiles de las proteínas son muy parecidas excepto para la harina tostada, debido a la agregación por calor de las proteínas, por otra parte el molino de martillo (4) y el molino de cuchilla (5) son los que extraen en mayor cantidad las proteínas, por lo que se decidió el uso del molino de cuchilla debido al mallaje más fino logrado, que es más semejante a algunas harinas comerciales encontradas.

2.2 Proceso de obtención de harina de quínoa.

Luego de determinar las condiciones de obtención de la harina se procedió a elaborar el diagrama de bloques del proceso que se describe a continuación.

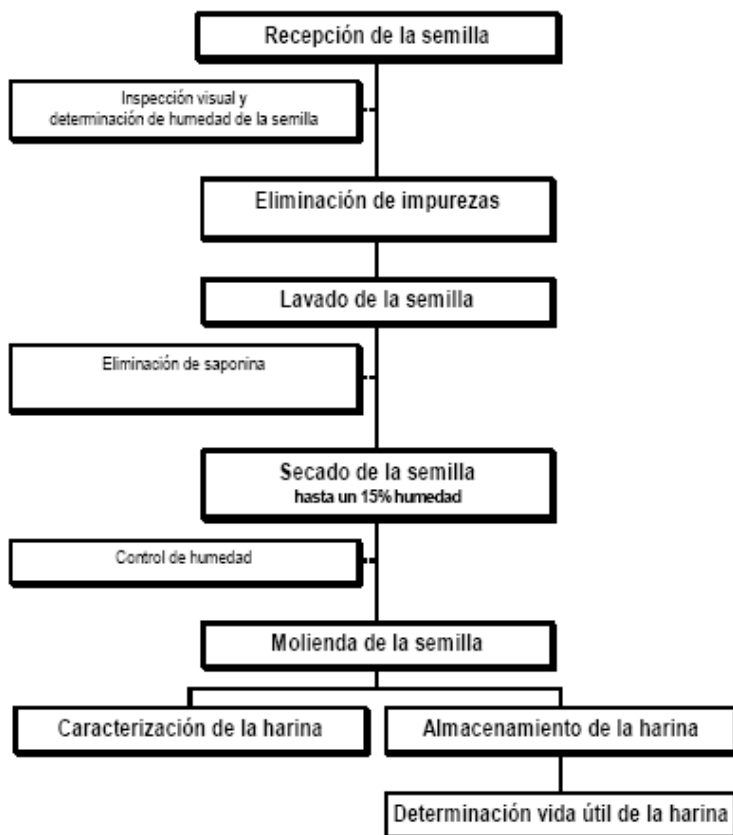


Figura 10. Diagrama de bloques. Obtención, caracterización y almacenamiento de la harina de quínoa. (Araneda, 2005 ; Pajarito, 2005)

Según los trabajos de Araneda, Pajarito (2005), se puede establecer el proceso siguiente.

2.2.1 Descripción del diagrama de bloques

1-. Recepción de la semilla. Se recibió la semilla de quínoa orgánica de cosechas procedentes de las localidades La Palmilla y Paredones, ambas de la región sexta, la cual fue proporcionada por la Cooperativa Las Nieves y la de Mata Redonda que

proporcionada por el Sr. Pablo Jara. Dicha semilla es un homogeneizado de variadas cosechas de una misma temporada. En esta etapa se procedió a realizar:

- Inspección visual. Con el objeto de apreciar el estado general de la semilla, observar presencia de fecas de roedores, restos de insectos, hongos, etc.
- Control de humedad. Este análisis se realizó a diferentes muestras de cada saco con el propósito de obtener la humedad inicial del grano.

2-. Eliminación de impurezas. La semilla no procesada trae consigo impurezas propias de la cosecha, entre las que se cuentan: restos de hojas, piedras, insectos, etc. (ver figura 11). La eliminación se realizó en forma manual.



Figura 11. Semilla de quínoa con impurezas

3-. Lavado de la semilla. Se procedió a lavar la semilla con agua fría con el propósito de eliminar las saponinas. Este proceso se puede apreciar claramente en las figuras 12a y 12b. El primer enjuague se realizó para eliminar los restos de perigonio que aún permanecen unidos a la semilla (figura 12a). Se lavó sucesivas veces una cierta cantidad de semilla (aprox. ½ kg) con agua, hasta que ésta no produjo espuma (figura 12b), lo anterior asegura que se ha eliminado prácticamente el 100% del contenido de saponina de la semilla.

La semilla húmeda se dejó estilar por algunos minutos en una bandeja confeccionada con una rejilla de acero galvanizado de 30 mallas (figura 13).



Figura 12a. Lavado manual de quínoa



Figura 12b. Lavado manual de quínoa. Eliminación de saponinas



Figura 13. Bandeja de acero galvanizado para secado de la semilla

4- Secado de la semilla. La semilla húmeda se colocó en la bandeja con un espesor no superior a 2 cm (figura 13) para optimizar el secado, el cual se realizó en una estufa de aire forzado con circulación de aire a una temperatura de 50°C (figura 14) hasta alcanzar una humedad del 15% ± 2.



Figura 14. Estufa de secado semilla

5- Molienda de la semilla. La molienda se realizó en un molino mixto de martillo/cuchillo (figura 15a y 15b) en el cual se obtuvo una harina de 60 mallas como promedio.



La harina obtenida abandonó el molino con una temperatura que no superó los 40°C; se envasó una vez que alcanzó la temperatura ambiente. La harina se envasó en bolsas de papel Kraft doble (figura 16).



Figura 16. Envases de papel kraft para almacenamiento de la harina de quínoa.

2.3 Caracterización químico-proximal de las harinas de los diferentes ecotipos de quínoa.

En cuanto a la composición proximal de las harinas obtenidas se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8. Composición proximal de harina de quínoa.

	P	MRP	MRSP	LPP	LPSP
% grasa	4,18 +/- 0,099	5,18 +/- 0,085	5,59 +/- 0,085	6,40	6,55
%humedad	11,49 +/- 0,04	11,68 +/- 0,064	11,55 +/- 0,042	11,78 ± 0,20	11,60 ± 0,42
% cenizas	1,5 +/- 0,141	1,38 +/- 0,028	1,37 +/- 0,042	1,52 ± 0,01	1,60 ± 0,04
% proteínas	11,57 +/- 0,3	14,7 +/- 0,5	14,1 +/- 0,14	14,21 ± 0,056	13,82 ± 0,028
Aw (20°C)	0,52 +/- 0,003	0,47 +/- 0,003	0,48 +/- 0,013	0,488 +/- 0,005	0,522 +/- 0,007
Fibra cruda (g/100g)	2	2,9	2,08	1,32	3,07
Carbohidratos totales	69,26	64,16	66,17	65,15	64,45

(Araneda, 2005; Pajarito, 2005)

Donde:

P: Paredones

MRP: Mata Redonda Pulida

MRSP: Mata Redonda sin Pulir

LPP: Lo Palmilla pulida

LPSP: Lo Palmilla sin pulir

A partir un análisis estadístico de los datos de caracterización se llegó a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre el ecotipo Mata Redonda Pulida y Mata Redonda no Pulida, y Lo Palmilla pulida y Lo Palmilla sin pulir, por lo que se decidió realizar el estudio de vida útil sólo de los ecotipos Paredones, Mata Redonda Pulida y Lo Palmilla sin pulir. En la caracterización de las harinas de quínoa se puede observar que hay diferencias significativas entre los ecotipos Paredones y el resto de los ecotipos estudiados, en el porcentaje de humedad, grasa y actividad de agua, mientras que para el porcentaje de cenizas no se observaron diferencias significativas entre los tres ecotipos mencionados anteriormente para un 95% de confianza. Estas diferencias se pueden deber a distintos factores como lo es la zona de cultivo, la época en que se realizó la cosecha, el clima, etc.

Los parámetros encontrados en la caracterización no se ajustan de buena manera a los descritos por Ogungbenle (2003); tanto el porcentaje de grasa como el de fibra cruda son más bajos, mientras que el porcentaje de humedad, cenizas y carbohidratos son más altos que los descritos por este autor.

2.4 Composición de aminoácidos en las harinas de quínoa de las diferentes localidades

La composición de aminoácidos de las muestras de harinas obtenidas se presentan en la siguiente tabla, expresados como g/100g de producto.

Tabla 9. Composición de aminoácidos de harina de quínoa.

Aminoácidos	P	MRP	MRSP	LPSP	LPP
Ac. Aspártico	0,9	1,3	1,4	0,8	1,1
Ac. Glutámico	1,9	3	3,2	1,5	2,2
Serina	0,5	0,7	0,9	0,5	0,6
Histidina	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4
Glicina	0,9	1,2	1,3	0,6	0,8
Treonina	0,6	0,8	1,1	0,5	0,7
Arginina	1,2	1,6	1,8	0,8	1,3
Alanina	0,6	0,7	1,1	0,4	0,6

Tirosina	0,4	0,6	0,7	0,3	0,5
Valina	0,7	0,9	1,1	0,5	0,7
Metionina	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3
Cistina	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Isoleucina	0,6	0,8	0,9	0,4	0,5
Leucina	0,9	1,2	1,3	0,7	0,9
Fenilalanina	0,6	0,8	0,8	0,4	0,6
Lisina	0,6	1	1,1	0,6	0,8

(Araneda, 2005; Pajarito,2005)

La quínoa contiene 16 aminoácidos, de ellos 10 esenciales que no puede sintetizar el organismo y por consiguiente los debe adquirir en su totalidad de la dieta como lo son la fenilalanina, isoleucina, lisina, metionina, treonina, triptófano, valina; arginina, histidina, cistina y tirosina. Por ejemplo, de lisina, fundamental para el crecimiento, contiene 1,4 veces más que la soya, 2,5/5,0 que el maíz, 20,6 más que el trigo y 14,0 más que la misma leche (IESN-Chile, 2001).

En la Tabla 9 se pueden ver las cantidades de aminoácidos que poseen los tres ecotipos de quínoa estudiados. El ecotipo Mata Redonda no pulida presenta el mayor contenido de aminoácidos, sin embargo entre este ecotipo y el ecotipo Mata Redonda pulida no se aprecian diferencias significativas. Al realizar una comparación con harina de otros cereales se encuentra que la harina de quínoa es superior en lisina y metionina, la gran importancia de la lisina es que se la asocia al crecimiento y funciones cerebrales y básicamente es un aminoácido esencial que le organismo humano requiere para desarrollar actividades fisiológicas y la metionina es la necesaria para realizar funciones metabólicas básicas en el organismo.

2.5 Actividad de agua de la harina de quínoa

La actividad de agua se determinó en las cinco harinas elaboradas como un control al inicio del estudio.

Tabla 10. Actividad de agua de harina de quínoa.

Localidad	CONDICION	Aw
Lo Palimilla	Pulida	0,484 -0,491
Lo Palmilla	Sin Pulir	0,504 – 0,527
Paredones	Sin Pulir	0,516 – 0,520
Mata Redonda	Pulida	0,469 – 0,473
Mata Redonda	Sin Pulir	0,474 – 0,493

(Araneda, 2005)

(Pajarito, 2005)

Los valores de aw encontrados señalan la estabilidad que debiera tener la harina durante su almacenamiento. Estos valores de aw, no permiten el desarrollo de microorganismos patógenos, pero son rangos de actividad de agua en las que podrían verse afectadas las características de los lípidos en asociación con la temperatura.

2.6 Fitoestrógenos en harina de quínoa

Los resultados de las determinaciones de fitoestrógenos efectuadas en la harina, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 11. Contenido de Fitoestrógenos de la harina de quínoa.

Muestras	Daidzeína mg/kg harina	Genisteína mg/kg harina
Paredones	378,2	138,5
Mata Redonda sin pulir	115,2	94,0
Mata Redonda pulida	34,5	8,9
Lo Palmilla sin pulir	219,0	112,5
Lo Palmilla Pulida	429,8	152,2

Los fitoestrógenos son compuestos no esteroideos derivados de las plantas que poseen una débil actividad estrogénica. Comprenden 4 grupos químicos: lignanos, isoflavonas, cumestanos y lactonas del ácido resorcílico, siendo el grupo más estudiado las isoflavonas, principalmente las derivadas de la soya como son: Genisteína y Daidzeína. Varios estudios epidemiológicos han demostrado que el alto contenido de soya en la dieta está asociado a una menor incidencia de ciertas patologías, como la enfermedad cardiovascular, algunos cánceres hormonodependientes, como el de mama, endometrio, próstata y colon, la sintomatología climatérica, la osteoporosis, y las alteraciones del ciclo menstrual.

Como se mencionó anteriormente las isoflavonas están principalmente en la soya. Según Knight y Eden (1996), las harinas de soya tienen 146 mg/kg de Daidzeína y 162 mg/kg de Genisteína, por lo que se puede ver una notoria diferencia entre la harina de soya y la harina de quínoa en estudio (378,2 mg/kg en el ecotipo Paredones y 429,8 mg/kg en Lo Palmilla Pulida), mientras que en el contenido de Genisteína la diferencia es menor a favor de la harina de soya. Los valores de estos fitoestrógenos son válidos para estas condiciones de estudio y para las localidades estudiadas, dado que pueden presentar variaciones debidas a factores ambientales y tipos de semillas.

2.7 Contenido de fibra cruda en harina de quínoa

Se determinó adicionalmente el contenido de fibra cruda. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 12. Determinación del contenido de fibra cruda de harina de quínoa

Muestras	g/100 g de muestra fresca	g/100 g de muestra almacenada 6 meses
Paredones	2,00	2,53 ± 0,26
Mata Redonda sin pulir	2,08	2,09 ± 0,02
Mata Redonda pulida	2,90	1,76 ± 0
Lo Palmilla sin pulir	3,07	1,7± 0,01
Lo Palmilla Pulida	1,32	1,23± 0,07

(Araneda, 2005; Pajarito, 2005)

Se puede observar que el contenido de fibra es diferente, especialmente en el ecotipo LPSP y LPP, lo que hace ver que el pulido afecta su contenido, no así en los otros ecotipos, este contenido de fibra contrastado con otros cereales es comparable al sorgo, al trigo y presenta valores comparables en la literatura (Tabla chilena de los alimentos).

2.8 Análisis Microbiológicos de la harina de quínoa

Se realizaron los análisis microbiológicos correspondientes a la harina de quínoa y los resultados se muestran a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis microbiológicos de harina de quínoa en función del tiempo.

ANALISIS	Tiempo 0	Tiempo 6 meses Paredones	Tiempo 6 meses Lo Palmilla
Recuento Mesófilos Anaerobios u.f.c/g	3.9×10^2	$6,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$
Enterobacterias totales u.f.c/g	20		
Coliformes totales NMP/g	<3		
Coliformes fecales NMP/g	<3		
Escherichia coli NMP/g	<3		
Staphylococcus aureus NMP/g	<3		
Salmonella Presencia/25g	Ausencia		
Listeria monocytogenes Presencia /25g	Ausencia		
Rcuento de hongos u.f.c/g	<10	20	20
Recuento levaduras u.f.c/g	<10	<10	<10

(Araneda, 2005; Pajarito, 2005)

Como se puede observar de la tabla 13, la calidad microbiológica de las harinas es excelente tanto al inicio como después del almacenamiento, por lo que se puede deducir que si se mantienen las normas higiene y se evitan contaminaciones cruzadas ya sea por animales y manipulación humana, cumple perfectamente las especificaciones desde el punto de vista microbiológica para el consumo humano.

2.9 Determinación de la vida útil de las harinas de las diferentes localidades

En este ítem se presentarán los resultados obtenidos de la estabilidad de las harinas en el tiempo y la temperatura, primero se presentarán los datos de los parámetros generales de estabilidad de la harina y posteriormente la estabilidad de las proteínas en las harinas.

2.9.1 Evolución del porcentaje de humedad de harina de quínoa de diferentes localidades.

Los gráficos muestran la evolución de la humedad, índice de peróxido y análisis de textura realizados durante el período de vida útil.

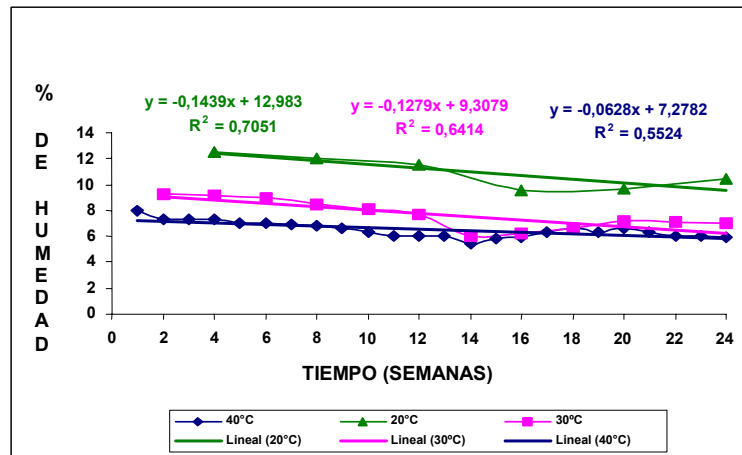


Figura 17. Gráfico evolución del porcentaje de humedad de la harina de quínoa ecotipo Paredones sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (Araneda, 2005)

En la Figura 17 se puede observar que el porcentaje de humedad en la harina de quínoa tiende a disminuir a medida que avanza el tiempo. A 20°C la humedad disminuye de forma más acelerada comparado con las otras dos temperaturas, sin embargo se comporta de manera lineal con un R^2 bastante adecuado (0,7051 para Paredones), lo cual no ocurre a 30 y 40°C. A pesar de que el descenso en el porcentaje de humedad es más rápido a 20°C se puede observar que a 40°C se llega a un porcentaje de humedad final (24 semanas) menor (5,94%) que a las otras dos temperaturas, resultado que se esperaba, ya que a mayor temperatura de almacenamiento se produce mayor pérdida de agua.

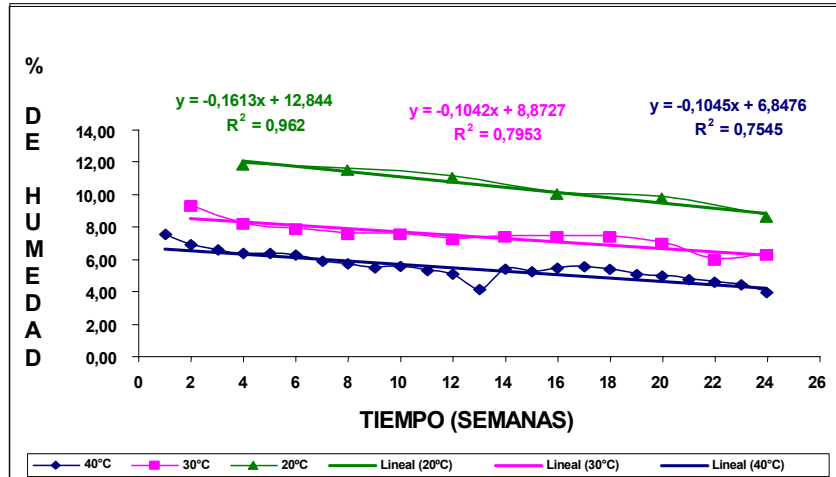


Figura 18. Evolución del porcentaje de humedad de la harina de quínoa ecotipo Mata Redonda pulida a través del tiempo a tres temperaturas (Araneda, 2005).

En la Figura 18 se observa la misma situación que para el ecotipo Paredones el descenso más pronunciado se produce a 20°C con un R^2 (0,962) más adecuado que el ecotipo anterior (0,962), por lo tanto ambas muestras tienen un comportamiento lineal, por otra parte el menor porcentaje de humedad se produce a 40°C (4,05%), es decir alcanza un menor porcentaje que el ecotipo anterior.

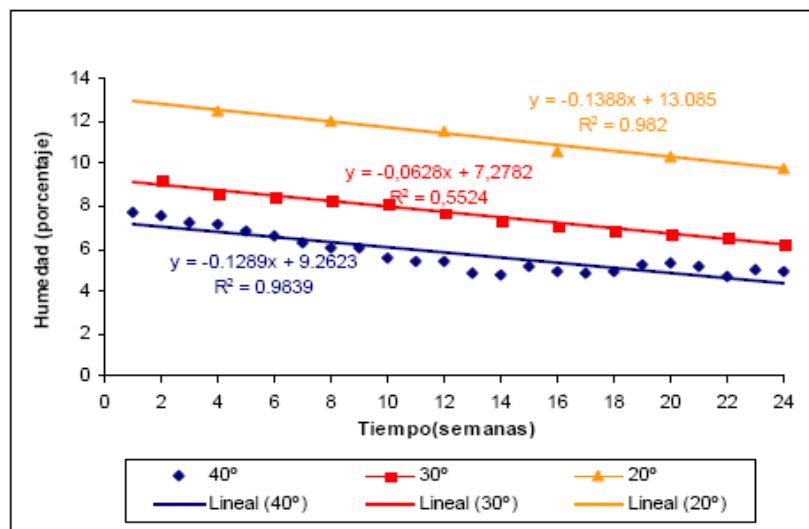


Figura 19. Variación a través del tiempo del contenido de humedad de la harina de quínoa Lo Palmilla sin pulir a tres temperaturas de almacenamiento (Pajaritos, 2005).

2.9.2 Evolución del índice de peróxidos en la harina de quínoa de diferentes localidades a través del tiempo a tres temperaturas.

En la Figura 20 se observa la evolución que tuvo el índice de peróxidos en el tiempo a tres temperaturas distintas en el ecotipo Paredones. Este índice tendió a subir en los primeros cuatro meses para las tres temperaturas, mientras que a partir del quinto mes tuvo un descenso y posterior aumento formando una especie de campana. Este ecotipo comenzó a presentar olor a rancio a las 19 semanas de estudio, sin embargo este olor no era tan pronunciado y no concordaba con el índice de peróxido encontrado en esa misma semana, por lo que podemos decir que el enrranciamiento no se produce por oxidación de grasas (Pajaritos, 2005)

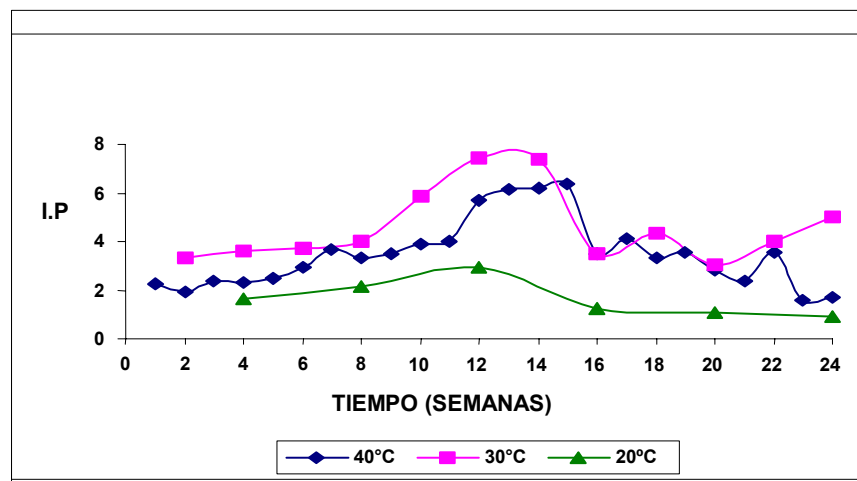


Figura 20. Índice de peróxidos de tres temperaturas distintas. Harina Paredones. (Pajaritos, 2005)

También se puede apreciar que el máximo índice de peróxidos se alcanza a 30°C, lo cual es esperable, ya que a mayor temperatura las grasas tienden a deteriorarse con mayor facilidad. El menor índice se encontró a 20°C y a esta temperatura no se vieron grandes fluctuaciones como en las otras (Araneda, 2005).

En la Figura 21, se observa la evolución que tuvo el índice de peróxidos en el tiempo a tres temperaturas distintas en el ecotipo Mata Redonda Pulida. Este índice, al igual que en el ecotipo Paredones, tendió a subir en los primeros cuatro meses para las tres temperaturas, mientras que después tuvo un descenso y posterior aumento leve. Este ecotipo comenzó a presentar olor a rancio a las 15 semanas de estudio, y al igual que en el otro ecotipo estudiado este olor no era concordante con el índice de peróxido encontrado en esa misma semana. La temprana presencia de olor a rancio de este ecotipo se puede deber a que tenía un mayor tiempo de almacenamiento que el otro, es decir se puede pensar que se cosechó con mayor anterioridad.

En este ecotipo el mayor índice se encontró a 40°C y el valor mínimo se presentó a 20°C.

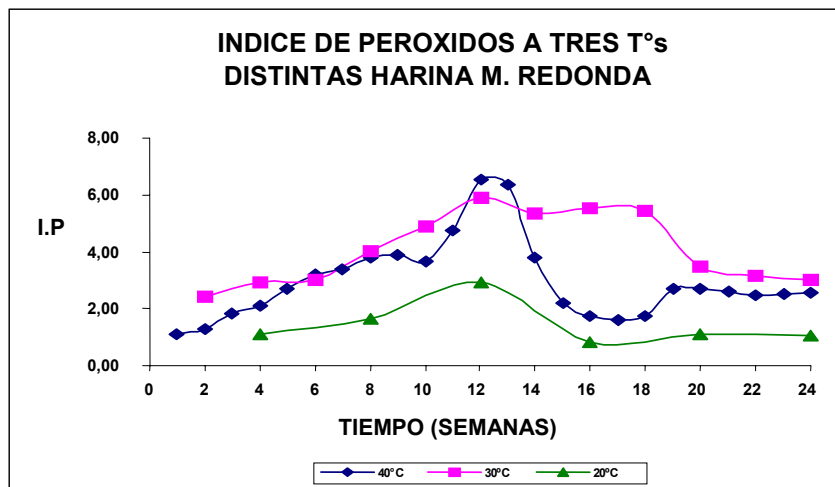


Figura 21. Índice de peróxidos a tres temperaturas distintas. Harina Mata Redonda pulida. (Araneda, 2005).

Este mismo comportamiento se presentó en las muestras de la localidad Lo Palmilla como se puede comprobar en los siguientes gráficos.

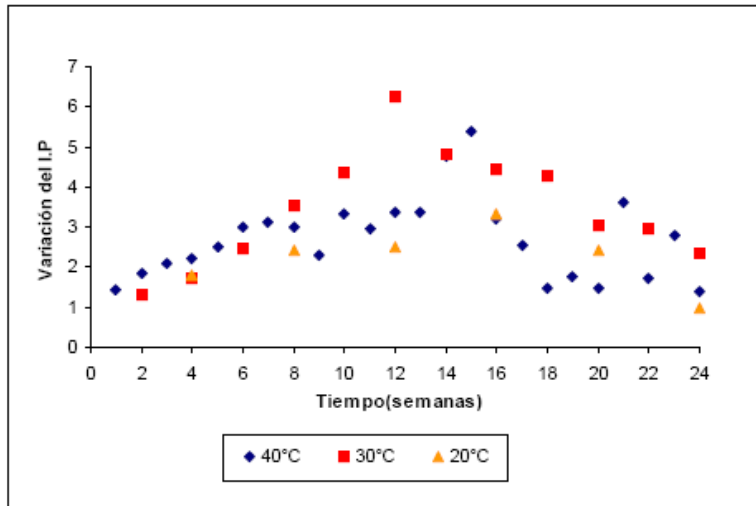


Figura 22. Variación, a través del tiempo, del Índice de peróxidos de la harina de quínoa Lo Palmilla sin pulir a tres temperaturas de almacenamiento (Pajarito,2005).

Se puede concluir que las harinas de todas las localidades alcanzan una vida útil de 6 meses en buenas condiciones esto indica que su vida útil real podría ser mayor.

2.9.3 Propiedades texturales y reológicas de las harinas de quínoa de las diferentes localidades.

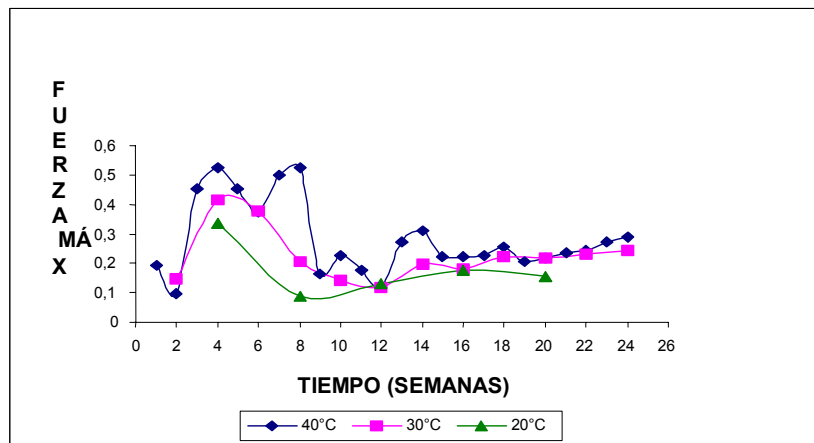


Figura 23. Evolución de la fuerza máxima en la harina de quínoa ecotipo Paredones a través del tiempo a tres temperaturas (Pajaritos, 2005).

En la Figura 23 se puede observar que la fuerza máxima que soporta la masa va aumentando en las primeras ocho semanas de estudio, sin embargo después de este tiempo empieza a disminuir con altos y bajos, presentando un comportamiento más estable a 30°C, por lo tanto se puede decir que la resistencia a la compresión de la masa, preparada en las proporciones estudiadas (Harina: agua=1:1), no presenta grandes modificaciones con el envejecimiento de la harina.

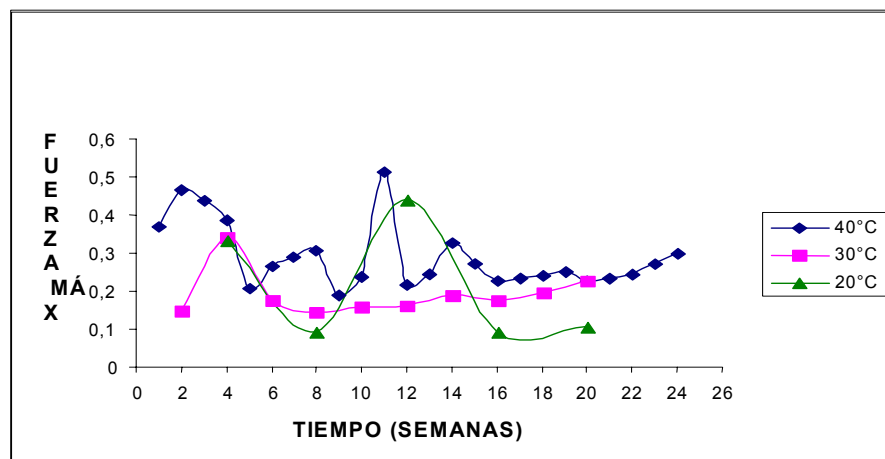


Figura 24. Evolución de la fuerza máxima en la harina de quínoa ecotipo Mata Redonda Pulida a través del tiempo a tres temperaturas (Araneda, 2005).

En la Figura 24 se observa el mismo fenómeno que en el ecotipo anterior, las propiedades de la masa no se ven muy afectadas con el envejecimiento de la harina presentando un comportamiento más estable a 30°C.

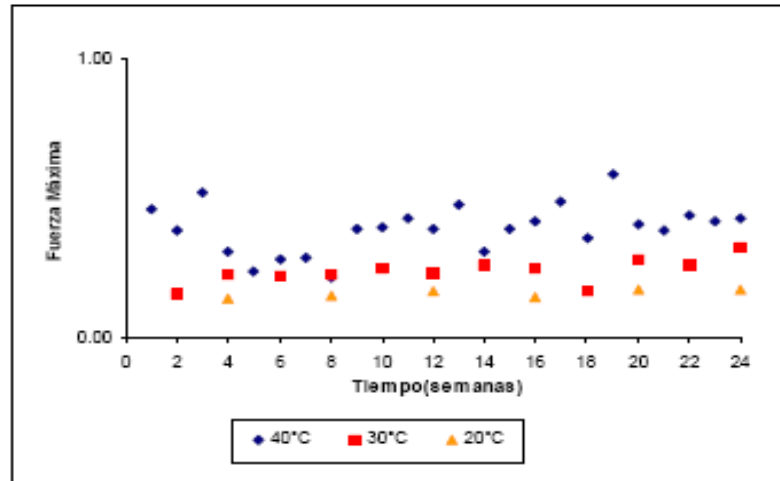


Figura 25. Variación, a través del tiempo, de la fuerza máxima ejercida sobre una masa elaborada con harina de quínoa LPs/p y agua en una proporción 1:1 (almacenada a distintas temperaturas) (Pajaritos, 2005).

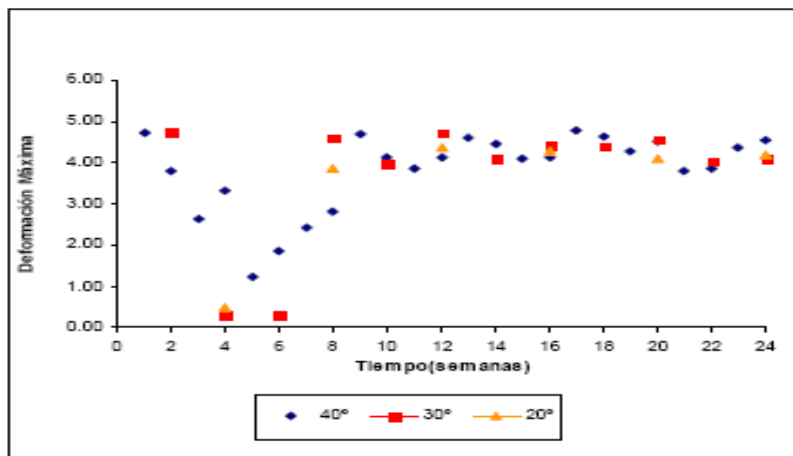


Figura 26. Variación a través del tiempo de la deformación máxima (producto de la penetración) de una masa formada por harina de quínoa Paredones sin pulir y agua en una proporción 1:1 (harina almacenada a distintas temperaturas) (Pajaritos, 2005)

En la Figura 26 se puede observar la evolución que tuvo la deformación de la masa preparada con harina del ecotipo Paredones. En las primeras seis semanas se ve una disminución en la máxima deformación de la masa teniendo más fluctuaciones a 40°C, sin embargo esta deformación se estabiliza después de las ocho semanas para las tres temperaturas, por lo que se puede decir que la masa preparada con harina almacenada a 20,30 y 40°C no presenta grandes cambios en cuanto a sus propiedades reológicas.

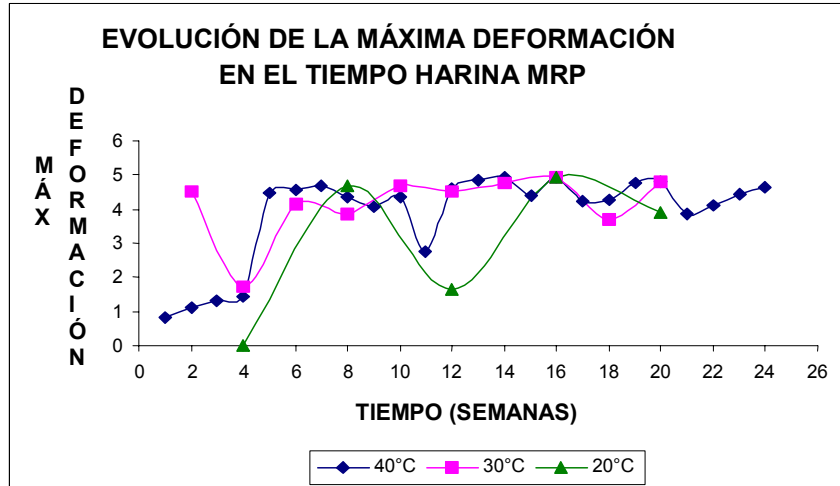


Figura 27. Evolución de la máxima deformación en la harina de quinoa ecotipo Mata Redonda Pulida a través del tiempo a tres temperaturas (Araneda, 2005).

En la Figura 27, se puede observar un comportamiento distinto al del ecotipo anterior, la máxima deformación se estabiliza después de las cuatro semanas de estudio, pero se ven más fluctuaciones hasta el final del estudio, pese a esto los dos ecotipos estudiados se estabilizan en el mismo rango de deformación.

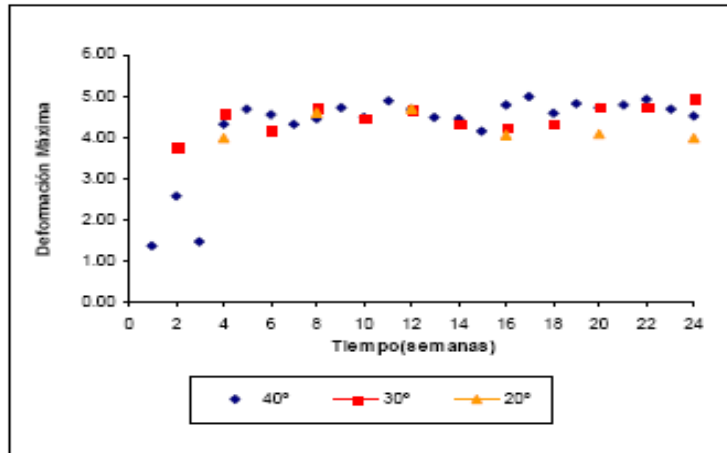


Figura 28. Variación a través del tiempo de la deformación máxima de la harina de quínoa, localidad Lo Palmilla sin pulir, a tres temperaturas de almacenamiento (Pajarito, 2005).

Del estudio de estos parámetros texturales y reológicos, se puede concluir que las harinas presentaron fluctuaciones en el tiempo de almacenamiento, pero que estas fluctuaciones en el tiempo de almacenamiento y el tiempo involucrado en el análisis señala que las propiedades que puedan tener desde el punto de vista de la deformación de la masa o de la fuerza máxima que soporta la masa no debieran hacer perder las propiedades en un campo de aplicación de las harinas en desarrollo de productos, estos productos no pueden estar orientados a panadería clásica ya que no poseen los atributos que tiene la harina de trigo, que es su capacidad de leudar e incorporar aire en su matriz para formar panes, elaboración de queques, tortas, si podría verificarse hasta que punto se podría reemplazar una harina por otra manteniendo las características de los productos horneados aireados.

2.10 Contenido de Proteínas Totales de la harina de quínoa

Este análisis se realizó solo al comienzo y al final del estudio, para determinar la cantidad total de proteínas existente.

La Tabla 14, muestra los resultados obtenidos de la cantidad de proteína total de las distintas harinas según el método de Kjeldahl, estos resultados muestran la escasa variación existente entre la harina pulida y sin pulir proveniente de Lo Palmilla y una diferencia pequeña al comparar con la harina proveniente de Paredones.

Entre las temperaturas estudiadas no se encontró diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte, la pequeña discrepancia en la cantidad proteica al comienzo y al final del estudio, se debe a la diferencia de humedad existente en las harinas puesto que debido al tiempo y temperatura de almacenamiento la humedad disminuye.

Tabla 14. Contenido proteico según Método de Kjeldahl.

Harina	% Proteína	% Humedad
Tiempo Inicial		
Lo Palmilla Pulida ^{B a}	14,2 ^b ± 0,06	11,6 %
Lo Palmilla Sin Pulir ^{B a}	13,8 ^b ± 0,03	11,1 %
Paredones Sin Pulir ^{A a}	11,6 ^b ± 0,3	12,3 %
Mata Redonda pulida	14,0 ^b ± 0,3	
Mata Redonda sin pulir	15,1 ^b ± 0,4	
Tiempo Final		
Lo Palmilla Pulida ^B 20°C ^a	14,1 ^a ± 1,1	8,2 %
Lo Palmilla Pulida ^B 40°C ^a	13,7 ^a ± 0,1	7,1 %
Lo Palmilla Sin Pulir ^B 20°C ^a	12,3 ^a ± 1,3	8,5 %
Lo Palmilla Sin Pulir ^B 40°C ^a	13,7 ^a ± 0,7	7,2 %
Paredones Sin Pulir ^A 20°C ^a	10,3 ^a ± 0,5	8,8 %
Paredones Sin Pulir ^A 40°C ^a	11,4 ^a ± 0,05	7,0 %
Mata Redonda pulida 20	13,3 ^a	
Mata Redonda sin pulir 20	14,8 ^a	
Mata Redonda pulida 30	13,9 ^a	
Mata Redonda sin pulir 30	14,6 ^a	
Mata Redonda pulida 40	13,7 ^a	
Mata Redonda sin pulir 40	14,4 ^a	

a,b : Letras distintas indican diferencias significativas entre tiempos de estudio (P<0,05).

A,B: Letras distintas indican diferencias significativas entre tiempos de estudio (P<0,05).

a: igual letra indica que no hay diferencias significativas entre temperaturas (P<0,05).

(Gajardo, 2005)

Se puede observar de la Tabla 14 que la cantidad de proteína varía de acuerdo a la localidad, se puede destacar el mayor contenido proteico para Lo Palmilla, valor que debe tener relación al tipo de suelo, época de cultivo, el ecotipo de la semilla, si se realiza un análisis estadístico entre estos valores, no presentan diferencias significativas. Este aumento de las proteínas al final del estudio se debe principalmente a una pérdida de contenido de humedad, reflejado en su disminución como se pudo comprobar en los datos generados para algunas localidades. Este hecho tiene dos aspectos uno desfavorable que podría llevar a una agregación de las proteínas por perder la interacción a nivel molecular de la proteína con el grano lo cual sería desfavorable no desde el punto de vista nutricional, sino en la pérdida de las propiedades tecnológicas que pudieran presentar las proteínas. Por otra parte otro aspecto favorable de la pérdida de humedad es el aumento de su estabilidad química y microbiológica ya que ello está unido a un descenso de la aw que se verá reflejado en los resultados posteriores.

2.11 Caracterización Térmica de las Proteínas (DSC)

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) es una técnica empleada para estudiar los cambios conformacionales de plegamiento-desplegamiento de la proteína cuando se calienta, es decir, se registra en forma continua el incremento de temperatura debida a un calor suministrado, esto es lo que se llama capacidad calorífica. Así se obtiene un termograma caracterizado por un pico de absorción de calor correspondiente a un proceso endotérmico, que se debe a la absorción de calor asociado con la desnaturalización de la proteína inducida por la temperatura (Sadqi, 2000).

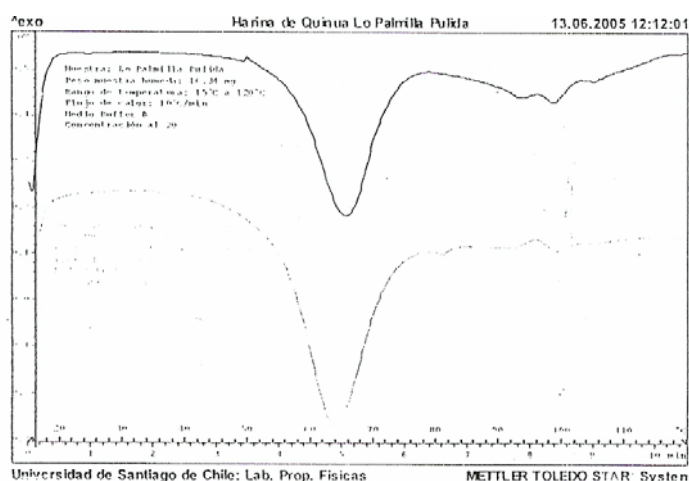


Figura 29. DSC harina de quínoa LPP en el tiempo inicial (curva superior) y LPP30 en el tiempo final (curva inferior). (Gajardo, 2005)

En este gráfico se puede observar dos transiciones endotérmicas, la primera corresponde a los almidones y la segunda a las proteínas.

Para la harina de quínoa de la localidad Lo Palmilla, pulida, la T_d es de $98,9^\circ\text{C}$ en el primer tiempo de estudio y de $98,8^\circ\text{C}$ para el último tiempo en la harina almacenada a 30°C , es decir, la variación es prácticamente nula. Todas las T_d encontradas presentaron aproximadamente estos mismos valores Paredones $T_d=99,20^\circ\text{C}$ en el primer tiempo; LPP30 $T_d=99,71^\circ\text{C}$.

2.12 Vida útil de las harinas desde el punto de vista de las proteínas.

2.12.1 Caracterización bioquímica de las Proteínas

2.12.1.1 PAGE nativo: con esta técnica se puede apreciar su estado inicial y si hubo agregación de las proteínas que produciría un cambio en las propiedades tecnológicas de las harinas.

A continuación se visualizan tres geles de las distintas harinas a todos los tiempos de estudio, se observa la misma banda en el mismo sector lo que indica la existencia de una banda de proteínas.

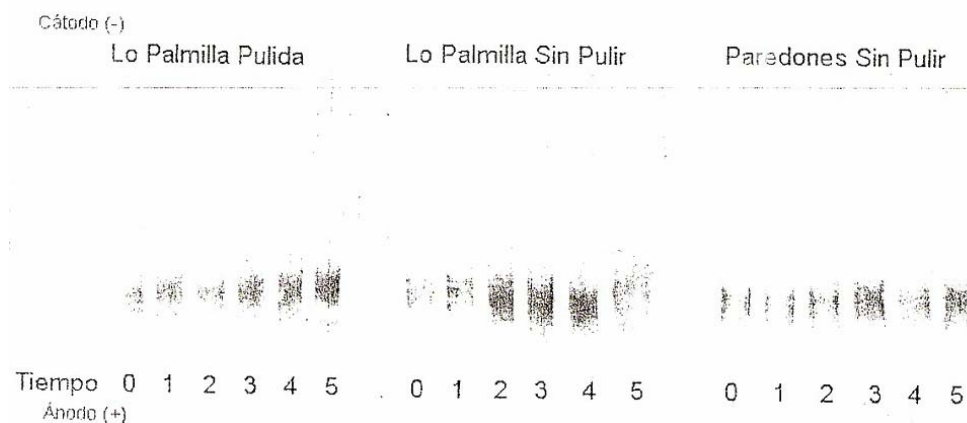


Figura 30. Electroforesis Nativa de quínoa Lo Palmilla pulida, Lo Palmilla sin pulir y Paredones a todos los tiempos de estudio (Gajardo, 2005)

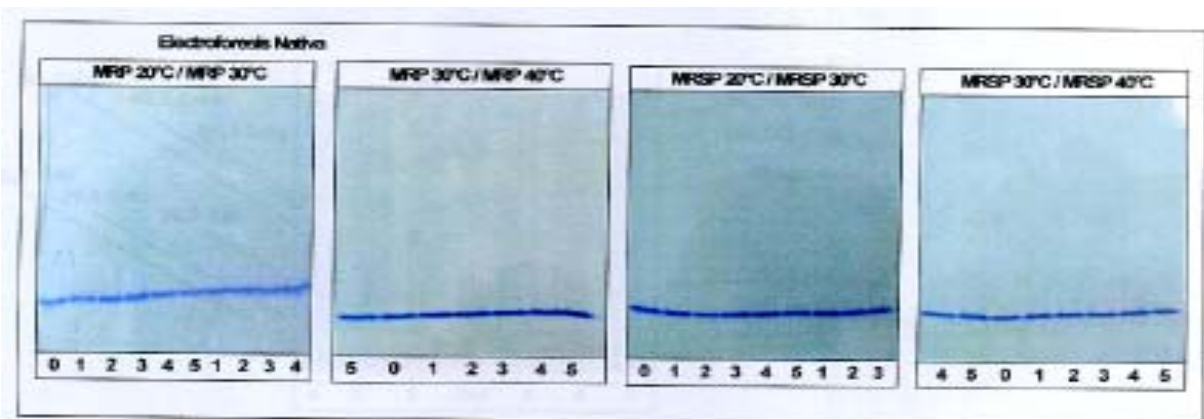


Figura 31. Electroforesis Nativa de quínoa Matarredonda pulida y sin pulir a todos los tiempos de estudio (Villarroel, 2005).

En la Figura 31 se puede apreciar que no existieron diferencias entre Mata Redonda pulida y sin pulir, ni tampoco entre tiempo y temperatura, igual sucede para las harinas Lo Palmilla y Paredones.

2.12.1.2 PAGE- SDS Electroforesis desnaturalizante de harina de quínoa:

Esta técnica permite observar los patrones presentados por las diferentes harinas y si ellos fueron modificados por el efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento. Se hace uso de un agente reductor para corroborar si las proteínas están estabilizadas por puentes disulfuro y sí además se afectaron en las condiciones ya mencionadas.

En cada gel se observa el estándar de pesos moleculares siendo el mismo estándar para todos los geles, por lo que los valores de MM (masas moleculares no se colocarán en todas las figuras) y luego los carriles correspondientes a las muestras a los distintos tiempos.

Todas las muestras fueron realizadas en duplicado y se obtuvo igual perfil de polipéptidos, tanto por la localidad, por el tiempo y las temperaturas de estudio, lo cual señala la gran permanencia por ecotipo y estabilidad de estas proteínas.

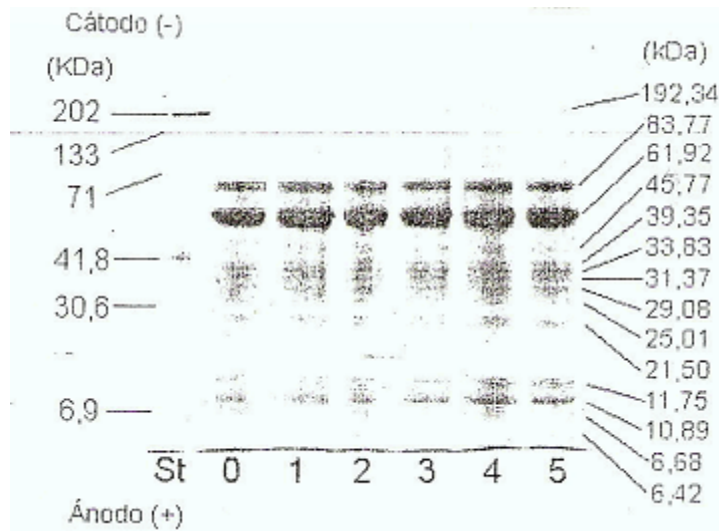


Figura 32. Electroforesis desnaturalante harina de quínoa Lo Palmilla pulida (Gajardo, 2005)

Al analizar la figura 33 se aprecia la semejanza entre los perfiles proteicos desnaturalantes para las distintas harinas, lo cual hace suponer que desde el punto de vista proteico la quínoa es una semilla que mantiene sus proteínas.

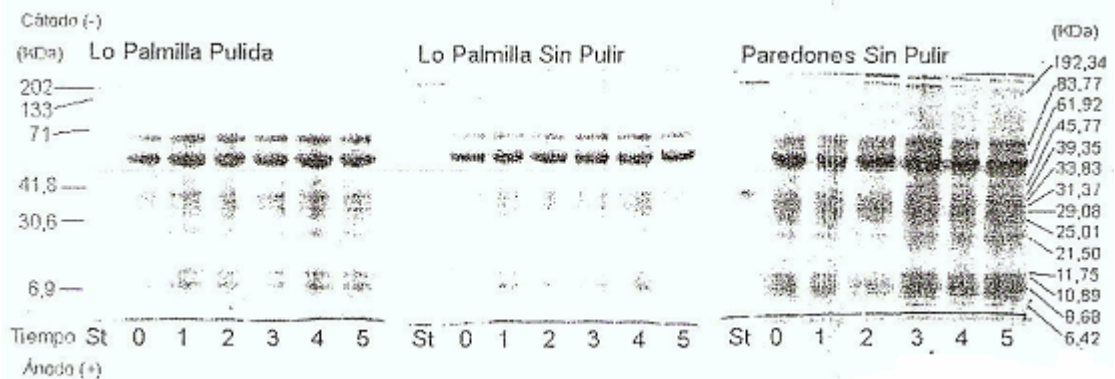


Figura 33. Electroforesis desnaturalante harina de quínoa Lo Palmilla pulida, Lo Palmilla sin pulir y Paredones a todos los tiempos de estudio (Gajardo, 2005).

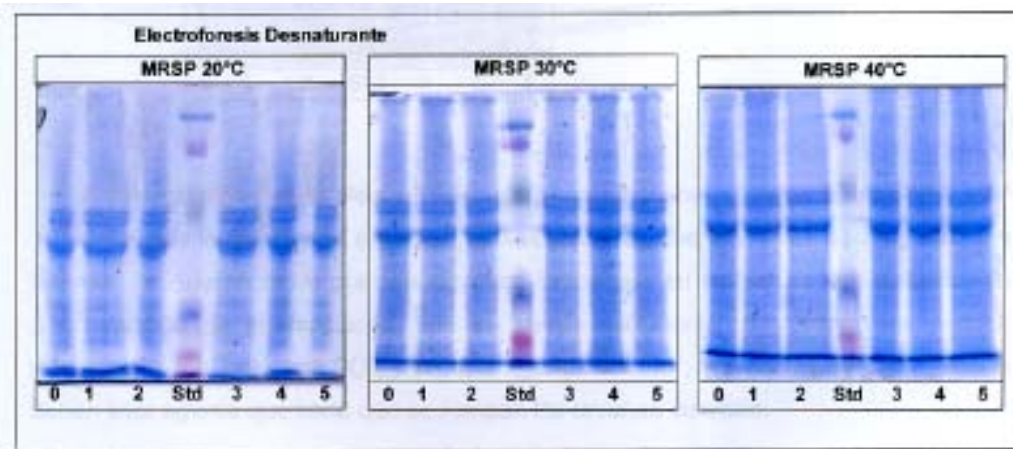


Figura 34. Compendio de geles desnaturalantes en ausencia de B- mercaptoetanol para harinas provenientes de granos sin pulir de Mata Redonda, con respecto a tiempo y temperatura (Villarroel, 2005).

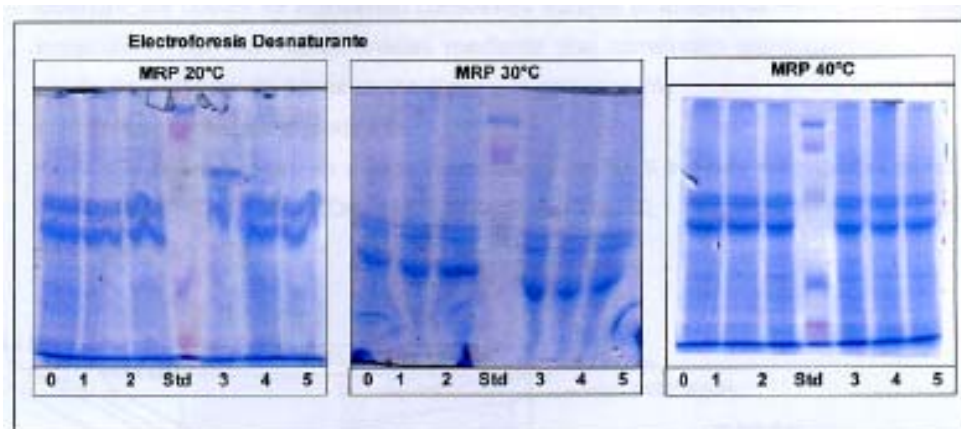


Figura 35. Compendio de geles desnaturalantes en ausencia de B- mercaptoetanol para harinas provenientes de granos pulidos de Mata Redonda, con respecto a tiempo y temperatura (Villarroel, 2005).

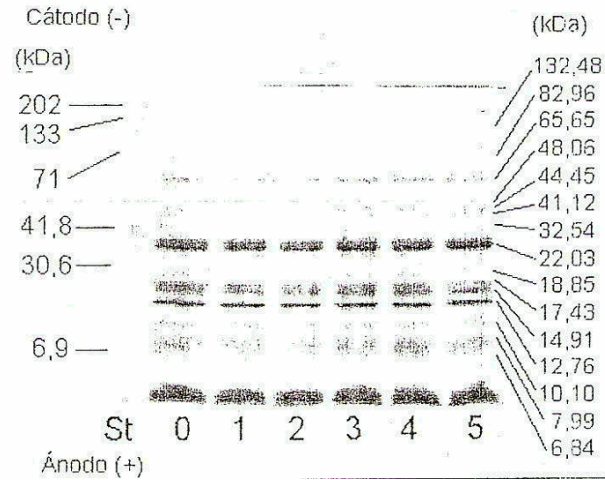


Figura 36. Electroforesis desnatante con β mercapto harinas de quínoa de las diferentes localidades.

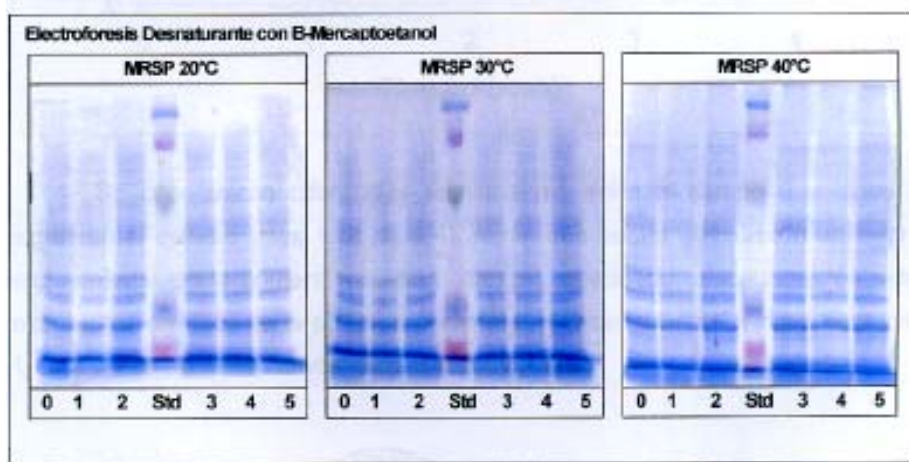


Figura 37. Compendio de geles desnatantes en presencia de B-mercaptoetanol para harinas provenientes de granos sin pulir de Mata Redonda, con respecto a tiempo y temperatura (Villarroel, 2005).

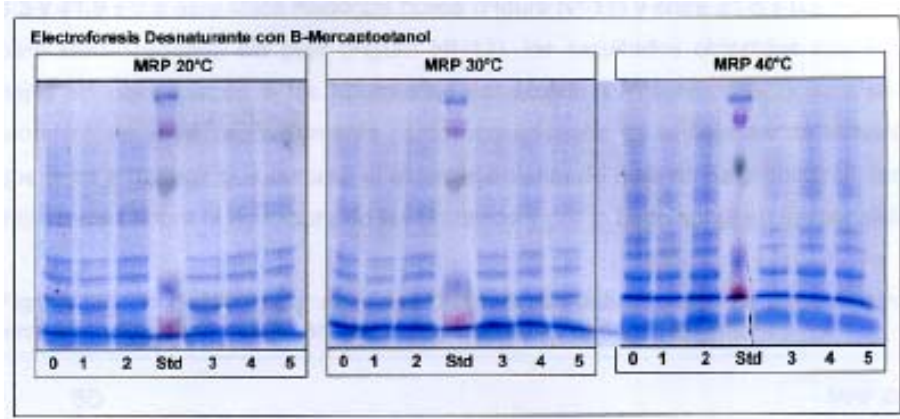


Figura 38. Compendio de geles desnaturalantes en presencia de B-mercaptoetanol para harinas provenientes de granos pulidos de Mata Redonda, con respecto a tiempo y temperatura (Villarroel, 2005).

Al igual que en la electroforesis sin B- mercaptoetanol, en la Figura 39 se aprecia la semejanza entre los perfiles proteicos desnaturalantes para las distintas harinas.

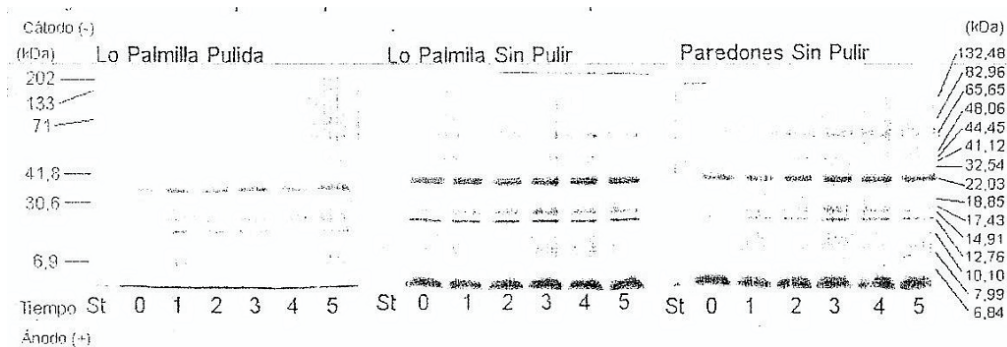


Figura 39. Electroforesis desnaturalantes con β mercapto harina de quínoa Lo Palmilla pulida, Lo Palmilla sin pulir y Paredones a todos los tiempos de estudio (Gajardo, 2005).

La existencia de puentes disulfuro indica que su estructura está estabilizada por este tipo de interacciones, ello se puede corroborar comparando los perfiles proteicos de los geles con SDS y sin este agente reductor, que son diferentes a los que tienen este agente que hace que se rompan las uniones disulfuro.

2.13 Actividad de agua de harina de quínoa

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla y gráficos, la actividad de agua (a_w) disminuye al pasar el tiempo de estudio y al aumentar la temperatura de almacenamiento. Esta disminución es beneficiosa, tal como ya se señaló anteriormente en cuento al contenido de microorganismos.

Tiempo (mes)	Temperatura (°C)	Ecotipo	A_w
0	20	MRP	0,471 ± 0,002 ^{BBg}
1	20	MRP	0,386 ± 0,018 ^{bbf}
1	30	MRP	0,315 ± 0,002 ^{Abf}
1	40	MRP	0,306 ± 0,008 ^{ahf}
2	20	MRP	0,375 ± 0,010 ^{Bbf}
2	30	MRP	0,317 ± 0,012 ^{Abf}
2	40	MRP	0,307 ± 0,005 ^{ahf}
3	20	MRP	0,348 ± 0,002 ^{Uhe}
3	30	MRP	0,307 ± 0,003 ^{Abc}
3	40	MRP	0,293 ± 0,004 ^{abe}
4	20	MRP	0,334 ± 0,002 ^{Bbe}
4	30	MRP	0,303 ± 0,002 ^{Abc}
4	40	MRP	0,289 ± 0,004 ^{abe}
5	20	MRP	0,329 ± 0,001 ^{Bbe}
5	30	MRP	0,298 ± 0,001 ^{Abc}
5	40	MRP	0,284 ± 0,003 ^{abe}
0	20	MRSP	0,489 ± 0,005 ^{Bcg}
1	20	MRSP	0,384 ± 0,009 ^{Bcf}
1	30	MRSP	0,326 ± 0,001 ^{Acf}
1	40	MRSP	0,312 ± 0,004 ^{acf}
2	20	MRSP	0,378 ± 0,010 ^{Bcf}
2	30	MRSP	0,327 ± 0,004 ^{Acf}
2	40	MRSP	0,310 ± 0,004 ^{acf}
3	20	MRSP	0,353 ± 0,002 ^{Bce}
3	30	MRSP	0,309 ± 0,003 ^{Acc}
3	40	MRSP	0,296 ± 0,005 ^{ace}
4	20	MRSP	0,341 ± 0,004 ^{Bce}
4	30	MRSP	0,305 ± 0,002 ^{Acc}
4	40	MRSP	0,291 ± 0,004 ^{acc}
5	20	MRSP	0,337 ± 0,004 ^{Bce}
5	30	MRSP	0,300 ± 0,001 ^{Acc}
5	40	MRSP	0,287 ± 0,004 ^{acc}

a, A, B, factores utilizados para temperatura
 b, c, factores utilizados para ecotipo
 e, f, g, factores utilizados para tiempo

Figura 40. Actividad de agua en la harina de quínoa ecotipo Mata Redonda pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20,30, 40°C) (Villarroel, 2005).

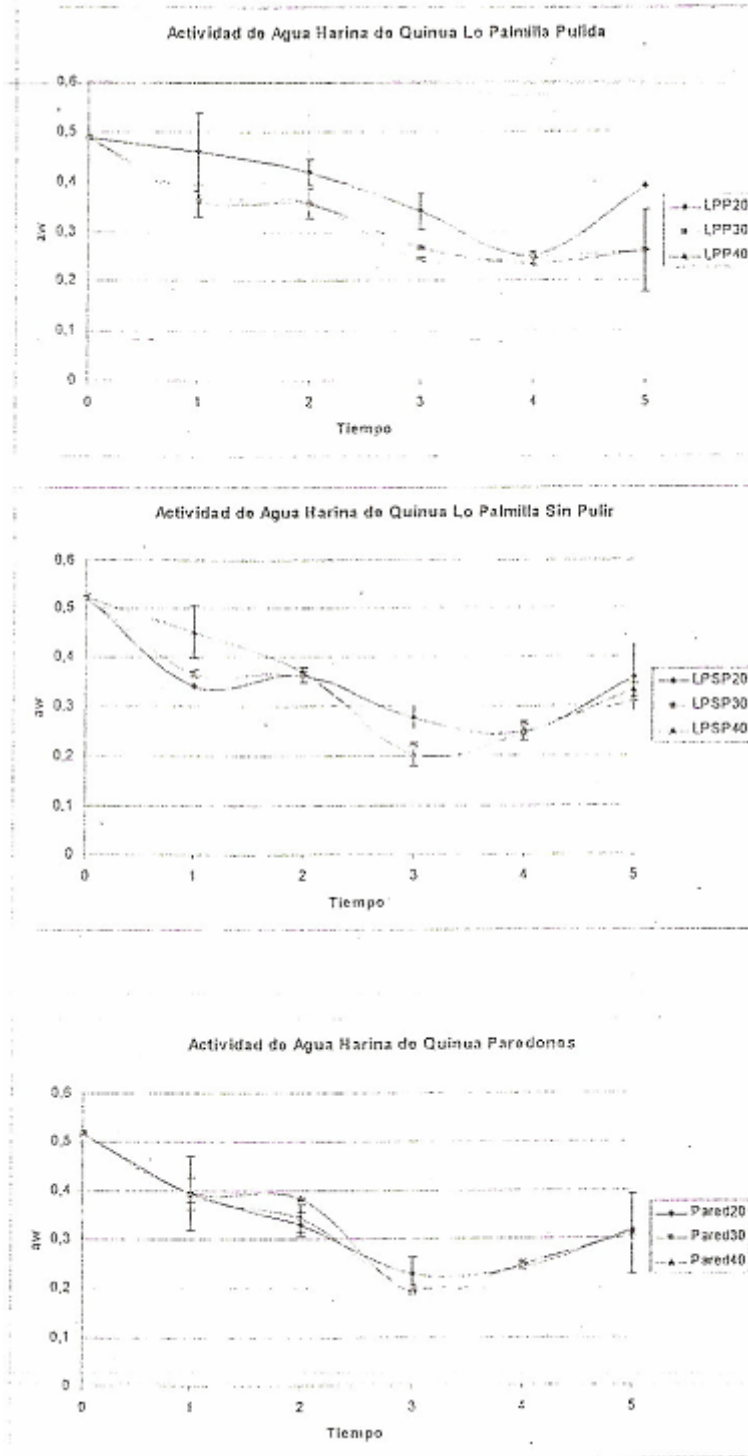


Figura 41. Gráfica de la actividad de agua de harina de quínoa ecotipo Lo Palmilla pulida y sin pulir, y Paredones a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40 °C) (Gajardo,2005).

Según el análisis estadístico, no hay diferencias significativas entre las distintas harinas ni con las temperaturas con un nivel del 95% de confianza. En los tiempos estudiados son similares los tiempos 1 y 2 y el 3 y 4 ambos difieren del tiempo inicial y del último tiempo de estudio.

2.14 Espectroscopia UV de harina de quínoa

A continuación se muestran los gráficos Absorbancia v/s Longitud de onda (nm) obtenidos de la Espectroscopia UV para las distintas harinas. Los análisis se realizaron en duplicado y se graficó el promedio de ambos valores en cada punto para cada harina y para cada tiempo de estudio.

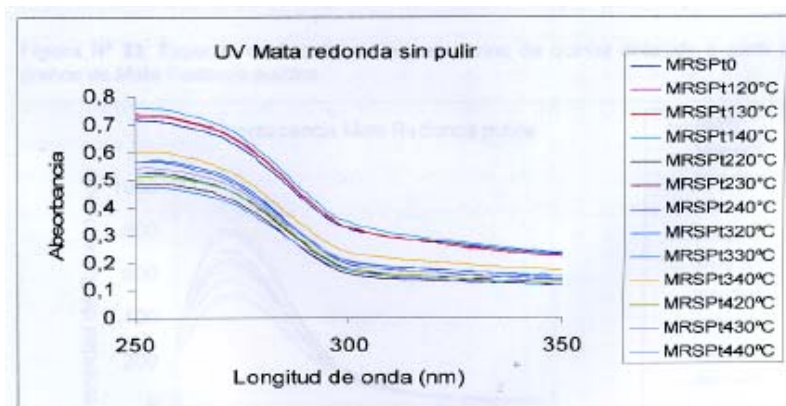


Figura 42. Espectro UV para harina de quínoa obtenida a partir de granos de Mata Redonda sin pulir a tres temperaturas (Villarroel, 2005).

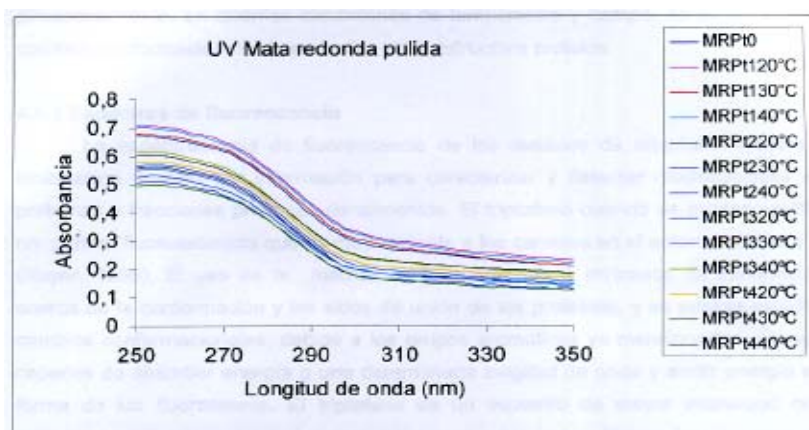


Figura 43. Espectro UV para harina de quínoa a partir de granos de Mata Redonda pulidos a tres temperaturas (Villarroel, 2005).

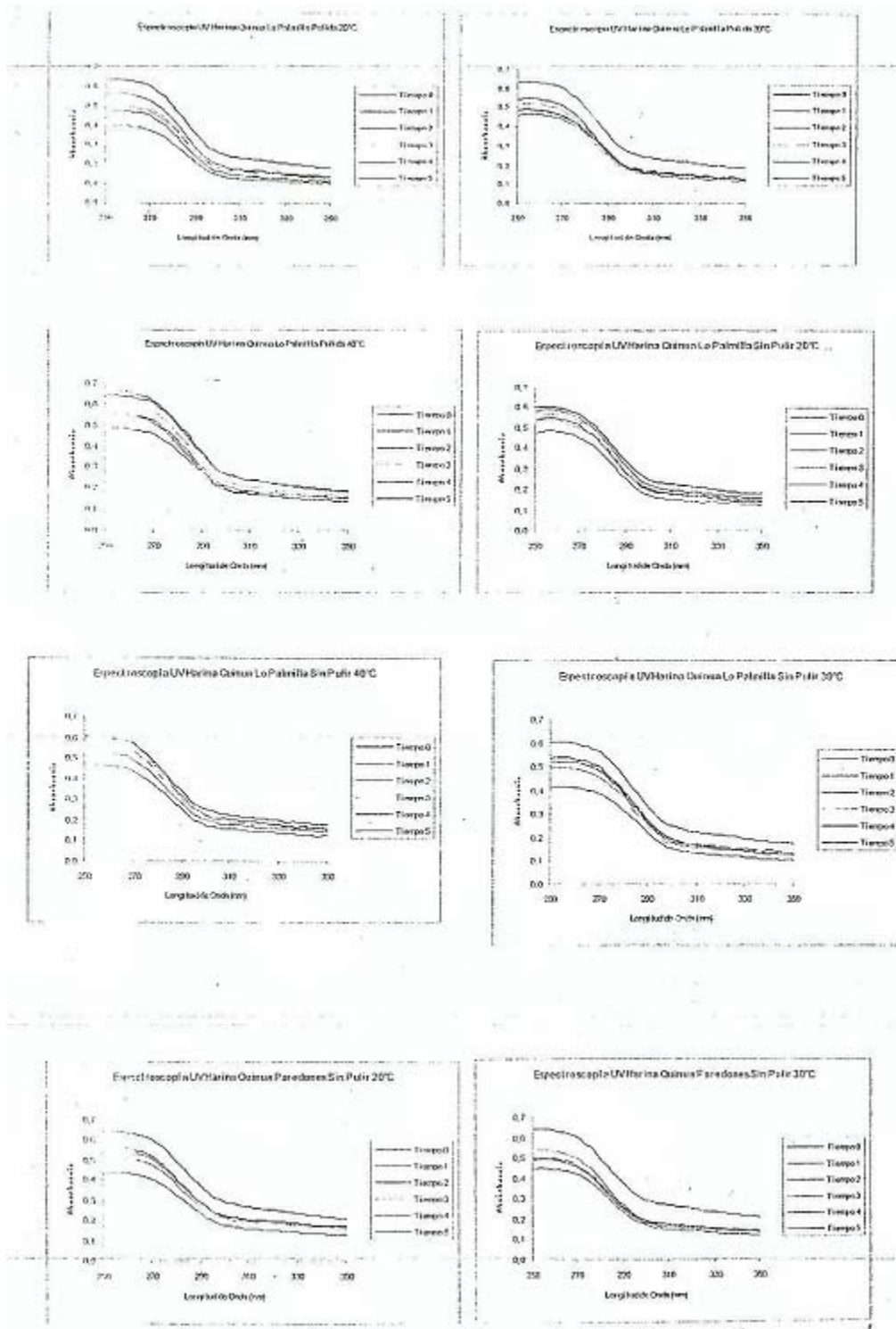


Figura 51. Espectro UV para harina de quinoa a partir de granos de Lo Palmilla pulida y sin pulir, Paredones sin pulir a tres temperaturas (Gajardo, 2005)

De todos los gráficos de espectros para todas las harinas se observan un comportamiento similar en relación a la temperatura, si en cambio se puede observar en cuanto a los tiempos, se puede ver que la curva en el tiempo inicial se encuentra sobre las demás y la curva en el último tiempo de estudio es la que está más abajo, esto quiere decir que la absorbancia a toda longitud de onda disminuye al pasar el tiempo, pero los valores a los cuales desciende no cambian significativamente.

2.15 Fluorescencia en harina de quínoa.

Los espectros de fluorescencia presentados ayudan a entender las modificaciones que puedan haber sufrido las proteínas a nivel de su estructura terciaria, lo cual estaría señalando cambios en sus propiedades tecnológicas.

En este caso se puede observar que los espectros son muy similares para todas las proteínas de las diferentes localidades, lo cual estaría indicando que no hubo cambios drásticos en su estructura si señala el cambio de intensidad de fluorescencia que los grupos que presentan estas propiedades puedan estar quencheados, es decir apantallados por otros grupos o por solventes.

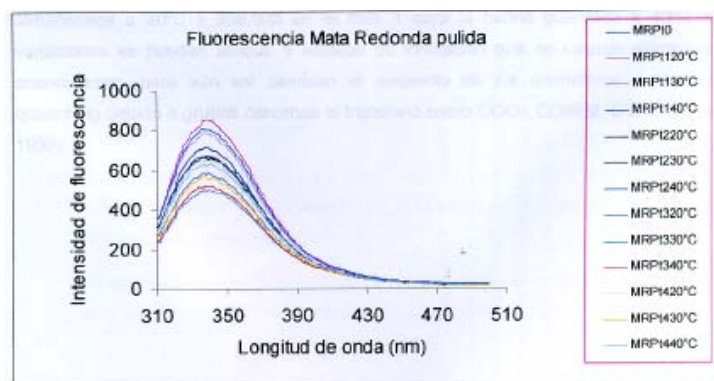


Figura 52. Espectro de fluorescencia para harina de quínoa obtenida a partir de granos de Mata Redonda pulidos a tres temperaturas (Villarroel, 2005).

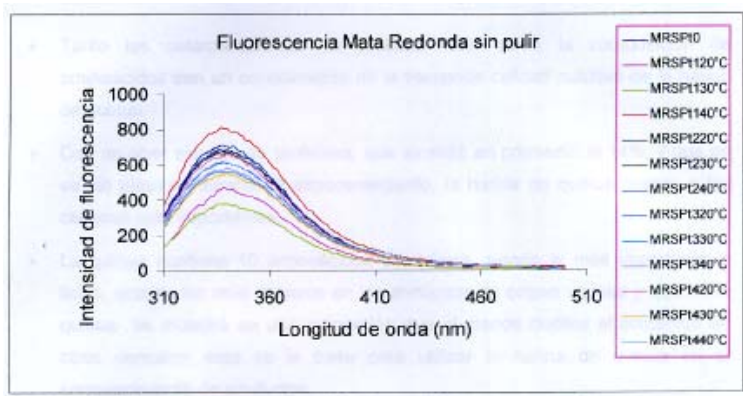


Figura 53. Espectro de fluorescencia para harina de quínoa obtenida a partir de granos de Mata Redonda sin pulir (Villarroel, 2005).

2.16 Actividad Proteolítica harina de quínoa.

Se puede observar en los resultados un cierto grado de actividad proteolítica, que no siguen una tendencia clara, probablemente debido a que la a_w en la que se encuentran es baja, lo cual estaría dificultando una catálisis ordenada, por otra parte estos valores en comparación con los de aislados de soya son muy bajos, en soya se ha encontrado valores de hasta 500% de actividad. Estos resultados demuestran en conjunto con las electroforesis en condiciones desnaturantes que no hubo gran actividad ya que no se vieron afectados los perfiles proteicos de las proteínas de todas las localidades.

Tiempo (mes)	Temperatura (°C)	Ecotipo	Actividad proteolítica
0	20	MRP	41,925 ± 0,279 ^{abf}
1	20	MRP	28,750 ± 4,045 ^{abe}
1	30	MRP	24,470 ± 8,514 ^{abe}
1	40	MRP	22,300 ± 7,057 ^{abe}
2	20	MRP	24,900 ± 1,838 ^{abe}
2	30	MRP	23,480 ± 4,045 ^{abe}
2	40	MRP	21,570 ± 2,277 ^{abe}
3	20	MRP	25,950 ± 12,926 ^{abe}
3	30	MRP	23,490 ± 0,778 ^{abe}
3	40	MRP	22,320 ± 10,649 ^{abe}
4	20	MRP	24,115 ± 11,618 ^{abe}
4	30	MRP	22,445 ± 6,329 ^{abe}
4	40	MRP	24,735 ± 21,843 ^{abe}
0	20	MRSP	50,045 ± 3,719 ^{abf}
1	20	MRSP	27,610 ± 7,170 ^{abe}
1	30	MRSP	22,840 ± 7,580 ^{abe}
1	40	MRSP	25,680 ± 5,784 ^{abe}
2	20	MRSP	27,500 ± 3,309 ^{abe}
2	30	MRSP	21,490 ± 3,521 ^{abe}
2	40	MRSP	24,570 ± 3,026 ^{abe}
3	20	MRSP	27,980 ± 22,458 ^{abe}
3	30	MRSP	21,455 ± 5,240 ^{abe}
3	40	MRSP	25,525 ± 5,013 ^{abe}
4	20	MRSP	28,410 ± 18,880 ^{abe}
4	30	MRSP	24,235 ± 22,847 ^{abe}
4	40	MRSP	25,680 ± 7,043 ^{abe}

a, A, B, factores utilizados para temperatura

b, c, factores utilizados para ecotipo

e, E, G, factores utilizados para tiempo

Figura 54. Actividad proteolítica a en la harina de quínoa ecotipo Mata Redonda pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40°C) (Villarreal, 2005).

Temperatura 20°C ^α			
Harina	Pared [^]	LPP [^]	LPSP [^]
Tiempo			
0	31,42 ^a ± 44,44	51,24 ^a ± 0,73	95,58 ^a ± 135,16
1	25,06 ^a ± 23,80	91,78 ^a ± 11,62	48,73 ^a ± 3,41
2	22,58 ^a ± 6,17	160,95 ^a ± 222,36	52,64 ^a ± 16,95
3	0	19,28 ^a ± 5,47	7,79 ^a ± 11,02
4	6,04 ^a ± 8,54	55,05 ^a ± 10,43	17,31 ^a ± 3,71
Temperatura 30°C ^α			
Harina	Pared [^]	LPP [^]	LPSP [^]
Tiempo			
0	31,42 ^a ± 44,44	51,24 ^a ± 0,73	95,58 ^a ± 135,16
1	78,81 ^a ± 111,46	72,34 ^a ± 13,41	39,34 ^a ± 11,63
2	55,92 ^a ± 13,56	44,36 ^a ± 2,43	25,25 ^a ± 7,61
3	68,02 ^a ± 14,83	20,67 ^a ± 1,03	45,94 ^a ± 38,15
4	8,11 ^a ± 1,09	25,32 ^a ± 2,09	0
Temperatura 40°C ^α			
Harina	Pared [^]	LPP [^]	LPSP [^]
Tiempo			
0	31,42 ^a ± 44,44	51,24 ^a ± 0,73	95,58 ^a ± 135,16
1	55,20 ^a ± 22,30	94,44 ^a ± 13,20	42,46 ^a ± 29,74
2	28,60 ^a ± 14,16	49,25 ^a ± 48,64	11,34 ^a ± 8,35
3	54,60 ^a ± 42,75	37,06 ^a ± 3,25	20,50 ^a ± 4,38
4	5,79 ^a ± 4,06	52,17 ^a ± 15,95	13,85 ^a ± 17,28

a : Igual letra indica que no existe diferencias significativas entre tiempos de estudio (P<0,05).
A: Igual letra indica que no existe diferencias significativas entre harinas(P<0,05).
α: igual letra indica que no hay diferencias significativas entre temperaturas (P<0,05).

Figura 55. Actividad proteolítica a en la harina de quínoa ecotipos Paredones, Lo Palmilla pulida y Lo Palmilla sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40°C). (Gajardo, 2005)

2.17 Propiedades funcionales de hidratación de proteínas en la harina de quínoa

2.17.1 Capacidad de retención de agua: En la tabla y gráficos siguientes se pueden observar los datos generados para esta propiedad tecnológica, muy importante para conocer si estas proteínas serían de utilidad en el uso por ejemplo en cecinas, en bebidas enriquecidas u otros usos en la industria alimentaria. Se puede observar que las harinas de los diferentes ecotipos no presentan diferencias significativas entre sus valores y ellas son capaces de retener entre 2,5 a un 4 g de agua/g de harina, lo cual está demostrando el uso que pudieran tener estas proteínas. Los valores en general tienden a mantenerse en el tiempo y en algunos casos tienden a disminuir. Esta propiedad no se ve afectada por

la temperatura. Al comparar los valores encontrados con el amaranto se ve que la quínoa presenta una capacidad de retención de agua mayor.

Tiempo (mes)	Temperatura (°C)	Ecotipo	CRA
0	20	MRP	4,340 ± 0,066 ^{abf}
1	20	MRP	4,625 ± 0,092 ^{abf}
1	30	MRP	3,645 ± 0,318 ^{abf}
1	40	MRP	3,980 ± 0,566 ^{abf}
2	20	MRP	2,585 ± 0,361 ^{abe}
2	30	MRP	4,025 ± 0,262 ^{abe}
2	40	MRP	3,075 ± 1,039 ^{abe}
3	20	MRP	4,065 ± 0,007 ^{abf}
3	30	MRP	3,980 ± 0,113 ^{abf}
3	40	MRP	4,100 ± 0,141 ^{abf}
4	20	MRP	4,120 ± 0,127 ^{abf}
4	30	MRP	4,065 ± 0,035 ^{abf}
4	40	MRP	4,180 ± 0,014 ^{abf}
5	20	MRP	4,010 ± 0,141 ^{abf}
5	30	MRP	4,025 ± 0,375 ^{abf}
5	40	MRP	4,170 ± 0,707 ^{abf}
0	20	MRSP	4,305 ± 0,005 ^{abf}
1	20	MRSP	4,595 ± 0,771 ^{abf}
1	30	MRSP	3,640 ± 0,269 ^{abf}
1	40	MRSP	4,570 ± 0,014 ^{abf}
2	20	MRSP	3,200 ± 0,707 ^{abe}
2	30	MRSP	2,875 ± 0,460 ^{abe}
2	40	MRSP	3,210 ± 0,311 ^{abe}
3	20	MRSP	4,070 ± 0,099 ^{abf}
3	30	MRSP	4,070 ± 0,113 ^{abf}
3	40	MRSP	4,085 ± 0,035 ^{abf}
4	20	MRSP	4,045 ± 0,092 ^{abf}
4	30	MRSP	4,820 ± 0,014 ^{abf}
4	40	MRSP	4,005 ± 0,064 ^{abf}
5	20	MRSP	4,030 ± 0,170 ^{abf}
5	30	MRSP	4,440 ± 0,354 ^{abf}
5	40	MRSP	3,945 ± 0,290 ^{abf}

a,A,B, factores utilizados para temperatura
 b,c, factores utilizados para ecotipo
 e,f,g, factores utilizados para tiempo

Figura 56. Capacidad de retención de agua en harina de quínoa ecotipo Mata Redonda pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40°C) (Villarroel, 2005).

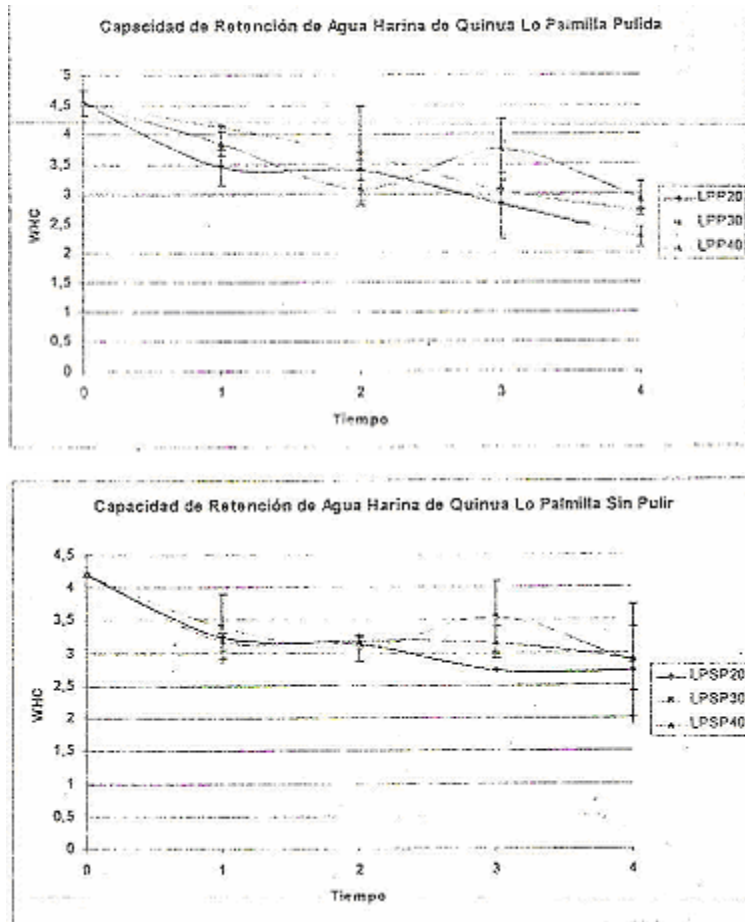


Figura 57. Capacidad de retención de agua en las proteínas harina de quínoa ecotipo Lo Palmilla pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20,30, 40°C) (Gajardo, 2005).

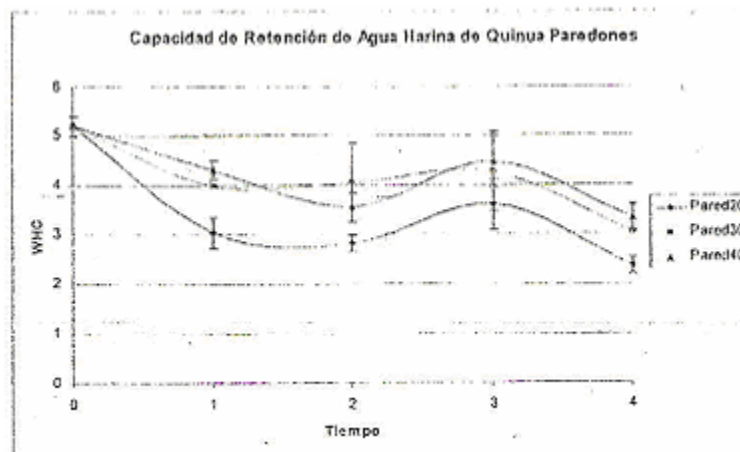


Figura 58. Capacidad de retención de agua en harina de quínoa ecotipo Paredones pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20,30, 40°C) (Gajardo, 2005).

2.17.2 Solubilidad de las proteínas en las harinas de quínoa de las diferentes localidades.

Se quiso aprovechar la instancia de este estudio para también investigar la solubilidad y la influencia que ella tiene sobre las localidades, los tiempos y temperaturas de almacenamiento. Se puede presentar los resultados en base al contenido de proteínas o en base a la harina, en un caso sería bastante mayor la solubilidad (ver tabla) y en el otro estaría referido a la harina, que está compuesta por mucho más que proteínas (gráficos), en ambos casos se observa una alta solubilidad y con tendencia a mantenerse o disminuir en relación al tiempo, la temperatura no tiene una influencia directa. Al comparar los resultados frente a otros estudios se puede indicar que la harina de quínoa presenta una solubilidad menor que la harina de amaranto, (Majan y Dua, 2002). Estos resultados llevan a pensar que la obtención de aislados proteicos de quínoa serían muy interesantes estudiarlos para su aplicación en la industria de los alimentos dadas las propiedades de hidratación tanto de solubilidad como de capacidad de retención de agua que presentaron en este estudio anexo al proyecto realizado.

Tiempo (mes)	Temperatura (°C)	Ecotipo	Solubilidad
0	20	MRP	87,010 ± 1,797 ^{abc}
1	20	MRP	69,900 ± 0,396 ^{abc}
1	30	MRP	66,145 ± 1,605 ^{abc}
1	40	MRP	92,535 ± 10,557 ^{abc}
2	20	MRP	82,220 ± 0,834 ^{abc}
2	30	MRP	84,370 ± 1,782 ^{abc}
2	40	MRP	83,260 ± 2,093 ^{abc}
3	20	MRP	70,020 ± 0,877 ^{abc}
3	30	MRP	77,215 ± 22,097 ^{abc}
3	40	MRP	81,655 ± 9,793 ^{abc}
4	20	MRP	81,670 ± 0,339 ^{abc}
4	30	MRP	75,200 ± 0,339 ^{abc}
4	40	MRP	81,355 ± 1,450 ^{abc}
5	20	MRP	81,070 ± 5,119 ^{abc}
5	30	MRP	76,005 ± 8,959 ^{abc}
5	40	MRP	83,425 ± 0,771 ^{abc}
0	20	MRSP	96,065 ± 4,727 ^{abc}
1	20	MRSP	71,405 ± 7,799 ^{abc}
1	30	MRSP	74,210 ± 5,445 ^{abc}
1	40	MRSP	68,085 ± 6,385 ^{abc}
2	20	MRSP	84,595 ± 2,312 ^{abc}
2	30	MRSP	82,150 ± 0,523 ^{abc}
2	40	MRSP	85,410 ± 0,311 ^{abc}
3	20	MRSP	91,780 ± 0,255 ^{abc}
3	30	MRSP	89,380 ± 12,940 ^{abc}
3	40	MRSP	99,945 ± 5,028 ^{abc}
4	20	MRSP	81,355 ± 0,559 ^{abc}
4	30	MRSP	77,645 ± 1,789 ^{abc}
4	40	MRSP	81,985 ± 1,223 ^{abc}
5	20	MRSP	80,710 ± 2,051 ^{abc}
5	30	MRSP	81,615 ± 7,163 ^{abc}
5	40	MRSP	89,215 ± 0,516 ^{abc}

a,A,B, factores utilizados para temperatura
b,c, factores utilizados para ecotipo
c,f,g, factores utilizados para tiempo

Figura 59. Solubilidad de las proteínas en harina de quínoa ecotipo Mata Redonda pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40°C) (Villarroel, 2005).

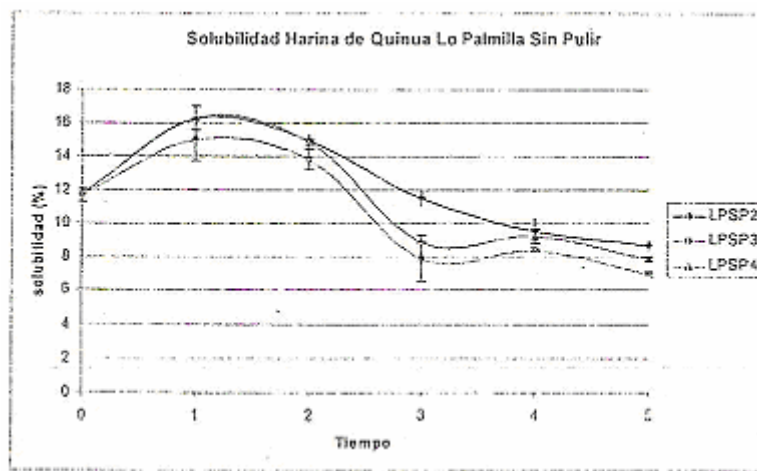
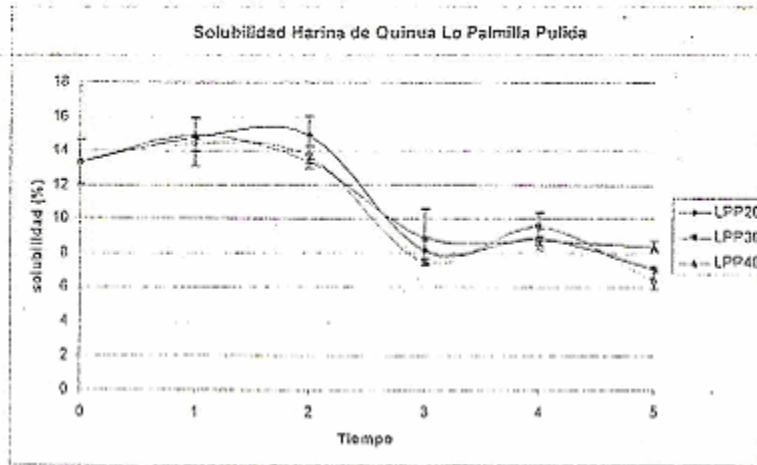


Figura 60. Solubilidad de las proteínas en harina de quinoa ecotipo Lo Palmilla pulida y sin pulir a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40°C). (Gajardo,2005)

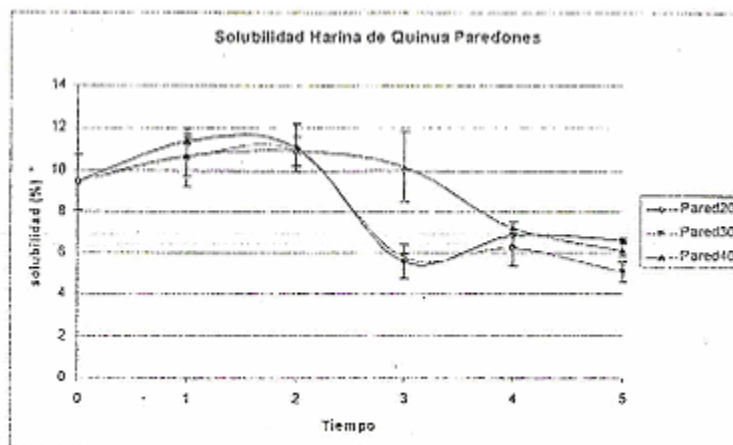


Figura 61. Solubilidad de las proteínas en harina de quinoa ecotipo Paredones a través del tiempo a tres temperaturas (20, 30, 40°C). (Gajardo, 2005)

CAPÍTULO III. Aceite de quínoa

La extracción orgánica de aceite de quínoa con etanol produjo un aceite con una serie de compuestos que hacían no viable una refinación del tipo orgánica.

La extracción del aceite se realizó con hexano en las semillas que a continuación se presentan.

3.1 Obtención de aceite de quínoa.

El contenido de humedad de las semillas de quínoa fue realizada inmediatamente después de recepcionados cada uno de los ecotipos.

Tabla 15. Contenido de humedad inicial de los distintos ecotipos de quínoa, Paredones no pulida, Mata Redonda pulida y Mata Redonda no pulida.

Muestra	Paredones No Pulida	Mata Redonda Pulida	Mata Redonda No Pulida
1	10,4	11,1	11,0
2	10,6	11,5	11,0
3	10,9	11,4	10,9
Promedio	^a 10,6 ± 0,2	^b 11,3 ± 0,2	^{ab} 11,0 ± 0,06

(a y b) denotan diferencias significativas estadísticamente (P<0,05)

(Rubio, 2005)

El análisis estadístico realizado al contenido de humedad inicial de las muestras arroja que no existe diferencias significativas entre los ecotipos, esto puede ocurrir porque el grano al estar cubierto por todas las capas de la semilla no absorbe tanta humedad, no así con la muestra de Mata Redonda pulida que presenta diferencias significativas con los

demás ecotipos de quínoa, esto puede deberse a que el grano está más expuesto al medio ambiente y por lo tanto, absorbe más humedad.

El contenido de grasa de los ecotipos estudiados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 16. Contenido de materia grasa (% base seca) de los distintos ecotipos de quínoa, Paredones no pulida, Mata Redonda pulida y Mata Redonda no pulida.

Muestra	Paredones No Pulida	Mata Redonda Pulida	Mata Redonda No Pulida
1	6,2	6,6	6,7
2	5,9	6,5	6,6
3	6,1	6,3	6,4
Promedio	6,1^a ± 0,1	6,4^b ± 0,2	6,5^b ± 0,2

(a y b) denotan diferencias significativas estadísticamente (P<0,05)

(Rubio, 2005)

El análisis estadístico de los datos para el contenido graso de las muestras arroja que la quínoa de Paredones no pulida tiene diferencias significativas con los demás ecotipos de quínoa, ya que presenta un contenido graso levemente menor que el resto de las muestras de quínoa, en tanto, para la quínoa provenientes de Mata Redonda pulida y no pulida, no existen diferencias significativas entre ellas ya que tienen un contenido graso muy similar.

3.1.1 Procedimiento de obtención de aceite de quínoa mediante extracción con solvente.

El proceso de extracción de aceite de quínoa logrado por el siguiente procedimiento:

- 1. Recepción de la semilla de quínoa:** La quínoa fue recibida en sacos de papel Kraft doble de 25 kg, los que fueron almacenados a temperatura ambiente y en un lugar seco.

2. **Limpieza:** Se realizó una limpieza manual para eliminar las impurezas presentes, tales como, piedrecillas, semillas defectuosas y otras semillas.

3. **Secado:** El secado se realizó en estufa de aire forzado a 80°C por 3 horas hasta llegar a una humedad de alrededor del 8%.

4. **Molienda:** Esta operación se efectuó en un molino de cuchillas, el cual reduce el tamaño de las partículas de las semillas de quínoa, permitiendo la ruptura de las células que facilita la liberación del aceite, el tamaño promedio de partícula fue de 240 μm .

5. **Extracción con solvente (Eter de petróleo):** La extracción de aceite se realizó en un extractor Soxhlet, para ello se preparan unos cambuchos de papel filtro en donde está contenida la semilla molida, luego se pone en contacto con el solvente con el cual se realiza la extracción, el proceso continúa hasta que no se observan restos de aceite en el cambucho de papel filtro.

6. **Evaporación del solvente:** El solvente mezclado con el aceite extraído es evaporado en un rotavapor, en donde se realiza la separación del solvente y el aceite.

7. **Almacenamiento:** El aceite extraído se almacenó en botellas de vidrio ámbar para protegerlo de la luz.

El diagrama de bloques correspondiente a los procesos de extracción de aceite se presenta a continuación.



Figura 62. Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite de quínoa.

(Rubio, 2005; González,2005)

3.1.2 Rendimiento de obtención de aceite

Los resultados del rendimiento de extracción de aceite con hexano de las semillas de quínoa se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 17. Rendimiento de aceite de quínoa

Análisis	PSP	MRP	MRSP	LPP	LPSP
Rendimiento aceite	6,06± 0,33	6,45 ±0,34	6,54 ±0,39	6,0± 0,0	6,0± 0,0

(Rubio, 2005; González, 2005)

El contenido de aceite varía entre 6,0 y 6,54 lo que plantea que no hay diferencias con el proceso de pulido.

3.2 Caracterización del aceite de quínoa

En la tabla siguiente se presentan la caracterización química del aceite.

Tabla 18. Caracterización química del aceite de quínoa.

Parámetro	MRP	PSP	MRP	LPP	LPSP
Acidez Libre (%ácido oléico)	2,5± 0,14	4,1 ±0,14	1,0± 0,4	0,344	0,382
Grasa neutra (%)	98,7 ±0,14	97,8± 0,14	99,5 ±0,14	99,81	99,82
Estabilidad termooxidativa (h)	6,38	<0,5	8,02	4,75 ±0,04	5,29 ±0,59
Índice de éster	189,9 ±5,29	187,5 ±5,19	190,2 ±4,47	181,17	182,7
Índice de peróxido (meq O ₂ /kg aceite)	4,6± 0,2	14,9 ±0,2	10,5± 0,15	0,1	0,1
Índice de saponificación (mgKOH/kg aceite)	192 ±2,1	191,6 ±5,25	191,1 ±4,1	181,51 ±1,23	183,03 ±0,89
Índice de yodo (g I ₂ /100g aceite)	142 1,0	140,5 ±2,36	140 ±2,2	149,34 ±2,46	151,68 ±1,59
Materia insaponificable (%)	7,3± 1,0	6,5 ±0,2	7,4 ±0,4	8,48 ±0,15	8,15 ±0,13
Valor anisidina (densidad óptica/g aceite)	24,2 ±0,1	31,9 ±0,1	25,8± 0,0	4,68 0,97	4,38 0,31

(Rubio, 2005; González, 2005)

En la Tabla 18, se puede observar que el índice de peróxido de todos los aceites obtenidos están bajo el límite máximo permitido por el Reglamento Sanitario de los Alimentos (2000), para aceites comestibles a la fecha de elaboración (2,5 meq O₂/kg aceite). Estos valores tienen una relación directa con el valor de anisidina determinado, ya que representan el estado de deterioro oxidativo secundario de los aceites. Para el aceite de Lo Palmilla este valor está considerado dentro de lo aceptable, sin embargo, en el caso de Paredones demuestra un estado oxidativo avanzado, dado a que este análisis fue realizado después de un prolongado tiempo de almacenamiento.

Los valores obtenidos para los análisis de ácidos grasos libres expresados en porcentaje de ácido oleico están por sobre lo permitido por el Reglamento Sanitario de los Alimentos (2000), para aceites comestibles a la fecha de elaboración (0,25%), lo que indica que estos aceites presentan un deterioro hidrolítico.

El alto valor obtenido en el índice de yodo, el cual mide el grado de insaturación de las materias grasas, esta de acuerdo al perfil de ácidos grasos obtenido, ya que en este análisis predominan los ácidos linoleico, linolénico y oleico. Esto también determina que este aceite pueda ser clasificado como un aceite poliinsaturado lo que es confirmado por la cromatografía gas-liquido.

El Índice de éster entrega una medida de la cantidad de grasa neutra presente en el aceite y que corresponde a los mg de KOH necesarios para saponificar sólo la grasa neutra. Según los valores obtenidos se puede observar que es muy parecido al valor obtenido para el índice de saponificación lo que indica que existe sólo una pequeña cantidad de grasa que se encuentra como ácidos grasos libres, característica que se ratifica con el bajo valor del índice de acidez que presentó el aceite, dando a su vez cuenta de un bajo deterioro desde el punto de vista hidrolítico. Este índice se ratifica además con el porcentaje de grasa neutra que alcanza en todos los aceites sobre 99,6%.

Tabla 19. Análisis físicos realizados al aceite de quínoa.

Parámetro	MRP	PSP	MRP	LPP	LPSP
Índice de refracción	1,4669±0,0038	1,4726±0,00	1,4669±0,0038	1,4726±0,00	1,4726±0,00
Peso específico	0,9236±0,0019	0,9239±0,00	0,9236±0,0019	0,9224±0,00	0,9224±0,00

(Rubio, 2005; González, 2005)

El índice de refracción para todas las muestras de aceite tuvieron un valor similar debido a que fueron medidos después de un lapso de tiempo para que estas alcanzaran la temperatura correspondientes al aumento de la longitud de las cadenas del ácido graso, con el número de dobles enlaces, característica que se confirma en el análisis del perfil de ácidos grasos, en el cual se encontró una predominante presencia de ácidos grasos de cadena larga (C₁₈).

El índice de saponificación está relacionado con el peso molecular medios de grasa, es decir, que si los ácidos grasos son de bajo peso molecular, requieren más moléculas de triglicéridos para constituir un gramo de grasas, que si los ácidos fueran de mayor peso molecular. De acuerdo a lo obtenido por el análisis de cromatografía gaseosa, la alta presencia de ácidos poliinsaturados tales como linoleico, linolénico y oleico, que debido a sus dobles enlaces presentan menor peso molecular que uno saturado con igual número de carbonos, el índice de saponificación debiera ser elevado, valor reflejado en la tabla resumen para los tres tipos de aceites.

La prueba de estabilidad oxidativa, mostró un mayor valor para el aceite proveniente de las semillas sin pulir que las pulidas de Lo Palmilla, lo que demuestra una mayor estabilidad frente condiciones más extremas de temperatura en presencia de un flujo constante de oxígeno, no así con respecto a la semilla sin pulir de Paredones, la cual a diferencia de las anteriores fue sometida a este análisis después de un prolongado tiempo de almacenamiento, lo que se ve reflejado en el bajo valor obtenido. Sin embargo, el aceite de quínoa por tener un bajo porcentaje de ácido linolénico lo hacen más estables que otros aceites de origen vegetal, no así en comparación por ejemplo con el aceite de girasol.

3.2.1. Cromatografía gaseosa del aceite de quínoa

Tabla 20. Perfil de Ácidos Grasos por Cromatografía Gaseosa. Aceite de quínoa Lo Palmilla

Ácidos Grasos		Sin Pulir	Pulido
		X ± D.S.	X ± D.S.
Ac. Mirístico	C14:0	0,24 ± 0,01	0,24 ± 0,01
Ac. Pentadecanoico	C15:0	0,06 ± 0,00	0,05 ± 0,00
Ac. Palmítico	C16:0	8,97 ± 0,05	9,07 ± 0,11
Ac. Palmitoleico	C16:1	0,08 ± 0,00	0,11 ± 0,00
Ac. Hexadecaenoico	C16:1 Isómero	0,06 ± 0,00	0,08 ± 0,00
Ac. Hexadecadienoico	C16:2 Probable	0,05 ± 0,00	0,05 ± 0,00
Ac. Heptadecanoico	C17:0	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01
Ac. Heptadecaenoico	C17:1 Isómero	0,04 ± 0,00	0,04 ± 0,00
Ac. Heptadecaenoico	C17:1	0,13 ± 0,00	0,13 ± 0,00
Ac. Octadecaenoico	C18:0 Ramificado	0,06 ± 0,00	0,06 ± 0,00
Ac. Estearico	C18:0	0,64 ± 0,00	0,73 ± 0,04
Ac. Elaidico	C18:1 ω 9 t	0,08 ± 0,01	0,15 ± 0,02
Ac. Oleico	C18:1 ω 9c	19,54 ± 0,03	19,79 ± 0,06
Ac. Octadecaenoico	C18:1 ω7c	1,13 ± 0,00	1,25 ± 0,01
Ac. Octadecaenoico	C18:1 Isómero	0,07 ± 0,00	0,20 ± 0,03
Ac. Octadecadienoico	C18:2 Isómero	0,08 ± 0,01	0,17 ± 0,02
Ac. Linoleico	C18:2 ω 6	56,13 ± 0,09	55,55 ± 0,09
Ac. Octadecadienoico	C18:2 Isómero	0,11 ± 0,00	0,37 ± 0,00
Ac. Linolénico	C18:3 ω3	6,66 ± 0,01	6,56 ± 0,03
Ac. Eicosanoico	C20:0	0,47 ± 0,02	0,45 ± 0,01
Ac. Eicosaenoico	C20:1 Probable	1,26 ± 0,00	1,25 ± 0,01
No Identificado		0,19 ± 0,01	0,14 ± 0,00
No Identificado		0,16 ± 0,02	0,14 ± 0,00
Ac. Docosanoico	C22:0	0,67 ± 0,03	0,64 ± 0,03
Ac. Docosaenoico	C22:1	0,97 ± 0,00	0,92 ± 0,03
No Identificado		1,70 ± 0,00	1,42 ± 0,02
No Identificado		0,05 ± 0,00	0,06 ± 0,00
Ac. Tetracosanoico	C24:0	0,28 ± 0,03	0,27 ± 0,02

(González, 2005)

De la composición de ácidos grasos obtenidos por cromatografía gaseosa, se aprecia como los ácidos poliinsaturados son el grupo predominante, estos son el ácido linoleico (C18:2 ω6), ácido linolénico (C18:3 ω3) y en los ácidos monoinsaturados se destaca el ácido oleico (C18:1 ω9). La presencia de ácido linolénico le confiere una mayor inestabilidad oxidativa.

A continuación se presentan la composición de ácidos grasos de los aceites de Paredones y Mata Redonda.

Tabla 21. Perfil porcentual de los ácidos grasos (% ésteres metílicos) del aceite de quínoa de Paredones y Mata Redonda.

Ácidos grasos	Paredones	Mata Redonda pulida	Mata Redonda no pulida
Ac. Mirístico (C14:0)	0,21 ± 0	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0
Ac. Pentadecanoico (C15:0)	0,06 ± 0	0,06 ± 0	0,06 ± 0,01
Ac. Palmítico (C16:0)	8,76 ± 0,02	8,50 ± 0,13	8,44 ± 0,05
Ac. Palmitoleico (C16:1)	0,10 ± 0	0,10 ± 0	0,11 ± 0
Ac. hexadecaenoico (C16:1, isómero)	0,07 ± 0	0,08 ± 0	0,07 ± 0
Ac. Hexadecadienoico (C16:2, probable)	0,04 ± 0	0,05 ± 0	0,04 ± 0
Ac. Heptadecanoico (C17:0)	0,12 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,12 ± 0
Ac. Heptadecaenoico (C17:1, isómero)	0,05 ± 0	0,05 ± 0	0,05 ± 0
Ac. Heptadecaenoico (C17:1)	0,13 ± 0	0,13 ± 0	0,13 ± 0
Ac. Octadecanoico (C18:0, ramificado)	0,06 ± 0	0,08 ± 0	0,08 ± 0
Ac. Esteárico (C18:0)	0,64 ± 0,01	0,57 ± 0	0,55 ± 0
Ac. Eláidico (C18:1w9t)	Trazas	0,08 ± 0	0,05 ± 0
Ac. Oleico (C18:1w9c)	21,21 ± 0	21,31 ± 0,14	21,60 ± 0,04
Ac. Octadecaenoico (C18:1w7c)	1,17 ± 0,01	1,02 ± 0,23	1,21 ± 0,01
Ac. Octadecaenoico (C18:1, isómero)	0,13 ± 0	0,10 ± 0	0,12 ± 0,01
Ac. Octadecadienoico (C18:2, isómero)	0,06 ± 0	0,09 ± 0	0,09 ± 0,01
Ac. Linoleico (C18:2w6)	55,36 ± 0,05	56,94 ± 0,60	56,64 ± 0,03
Ac. Octadecadienoico (C18:2, isómero)	0,30 ± 0	0,23 ± 0	0,29 ± 0
Ac. Linolénico (C18:3w3)	5,74 ± 0,01	5,01 ± 0,02	4,66 ± 0,01
Ac. Eicosanoico (C20:0)	0,47 ± 0,03	0,44 ± 0,04	0,38 ± 0,01
Ac. Eicosaenoico (C20:1)	1,31 ± 0,01	1,32 ± 0,02	1,31 ± 0,03
Ac. Docosanoico (C22:0)	0,63 ± 0,01	0,67 ± 0,05	0,57 ± 0,01
Ac. Docosaenoico (C22:1)	1,10 ± 0	1,07 ± 0	1,10 ± 0
Ac. Tetracosanoico (C24:0)	0,27 ± 0	0,29 ± 0	0,23 ± 0,01

(Rubio, 2005)

De la cromatografía gas-líquido presentada en la Tabla 21 del aceite de quínoa proveniente de la zona de Paredones y Mata Redonda, se puede observar que los grupos de ácidos grasos predominantes son los ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados, entre los que destacan principalmente el ácido linoleico (ω -6) con un contenido del orden del 56%, el ácido linolénico (ω -3) con un contenido del orden del 5% y el ácido oleico con un 21%. Estos porcentajes concuerdan con los datos reportados por Ruales et al. (2002) y Masson y Mella (1985) que presentan porcentajes similares para la mayoría de los ácidos grasos. La figura 5.5.2.1 muestra una comparación de los aceites similares al aceite de quínoa de Paredones en composición de los principales ácidos grasos oleico, linoleico y linolénico, estos aceites son el de soja, de maíz y el aceite de germen de trigo que es el más parecido en composición de los tres ácidos grasos mencionados, Masson y Mella (1985).

Tabla 22. Distribución porcentual por grupo de ácidos grasos del aceite de quínoa de Paredones y Mata Redonda.

Ácidos grasos	Paredones	Mata Redonda	Mata Redonda
		pulida	no pulida
Saturados	11,2	10,9	10,6
Monoinsaturados	25,3	25,3	25,8
Poliinsaturados	63,5	63,8	63,6
Índice de poliinsaturación	5,7	5,9	6,0

(Rubio, 2005)

El índice de poliinsaturación (Tabla 22) es la relación que existe entre el contenido de ácidos grasos poliinsaturados y el contenido de ácidos grasos saturados, por lo tanto, un aceite con un mayor porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados tendrá un índice de poliinsaturación mayor que un aceite en que predomina el contenido de ácidos grasos saturados. En las tres muestras analizadas de aceite de quínoa, se obtuvo un índice de poliinsaturación entre 5,7 y 6,0. Algunos aceites con índices de poliinsaturación similares al aceite de quínoa son los aceites de semilla de cártamo (*Carthamus tinctorius*) variedad Fénix y de semilla de girasol (*Helianthus annuus*) de acuerdo a lo descrito por Masson y Mella (1985).

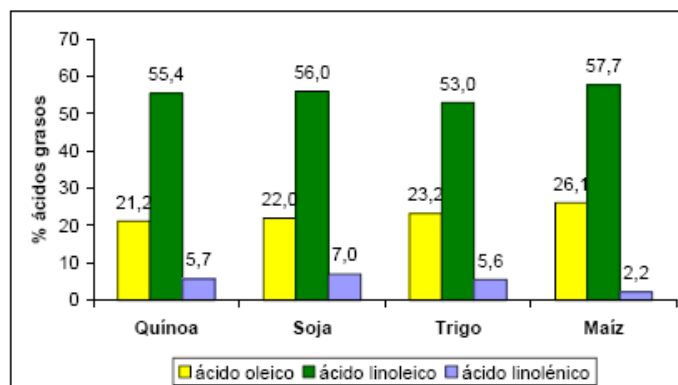


Figura 63. Comparación de los principales ácidos grasos del aceite de la semilla de quínoa con otras semillas similares en composición. (Rubio, 2005)

3.2.2 Insaponificable de aceite de quínoa

El contenido de materia insaponificable estuvo entre 6,5 y 8,5% para las tres muestras analizadas, estos resultados son mayores a los descritos por De Bruin (1964), que presenta un valor de 5,2%.

El contenido de tocoferoles reveló que los aceites con mayor contenido de α – tocoferol fueron los obtenidos de las semillas de Mata Redonda, tanto pulida como no pulida, con valores 933 y 875 ppm, respectivamente, estas concentraciones son mayores a las reportadas por Koziol (1993), que presenta valores entre 690 y 740 ppm de α – tocoferol. El mayor contenido de β – tocoferol se obtuvo para el aceite de Paredones con 51 ppm. En cuanto al contenido de γ – tocoferol el mayor contenido se obtuvo para el aceite proveniente de Mata Redonda de quínoa pulida como no pulida, con valores de 447 ppm y 435 ppm respectivamente, estos valores son menores que los reportados por Koziol (1993), que presenta valores entre 790 y 930 ppm de γ – tocoferol. El contenido de δ – tocoferol es bastante bajo y muy similar en todas las muestras analizadas. El aceite de Paredones presentó un contenido menor de tocoferoles respecto a las otras muestras analizadas, ya que el análisis fue realizado cuando este aceite llevaba un mayor tiempo de almacenamiento en comparación a los otros aceites, por lo que estuvo más expuesto a condiciones desfavorables para la disminución del contenido de tocoferoles.

Tabla 23. Materia insaponificable y tocoferoles del aceite de quínoa

	PP	MRP	MRSP
Materia insaponificable (%)	6,5 \pm 0,2	7,3 \pm 1,0	7,4 \pm 0,4
α – tocoferol (ppm)	396 \pm 2	933 \pm 24	875 \pm 3
β – tocoferol (ppm)	51 \pm 0	8 \pm 1	7 \pm 1
γ – tocoferol (ppm)	264 \pm 3	447 \pm 1	435 \pm 6
δ – tocoferol (ppm)	8 \pm 0	9 \pm 0	10 \pm 1

(Rubio, 2005)

3.3 Estudio de estabilidad del aceite de quínoa

3.3.1 Estudio del cambio químico en el tiempo del aceite de quínoa proveniente de la zona de Paredones.

Se realizó un estudio del deterioro hidrolítico y oxidativo del aceite, el cual fue almacenado a tres temperaturas distintas 20 °C, 30 °C y 40 °C. Estas mediciones se efectuaron a distintos tiempos dependiendo de la temperatura de almacenamiento, cada 8 semanas para la temperatura de 20 °C, cada 4 semanas para los 30 °C y cada 2 semanas para 40 °C.

3.3.1.1 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones a las 3 temperaturas de almacenamiento.

Los cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones se presentan a continuación.

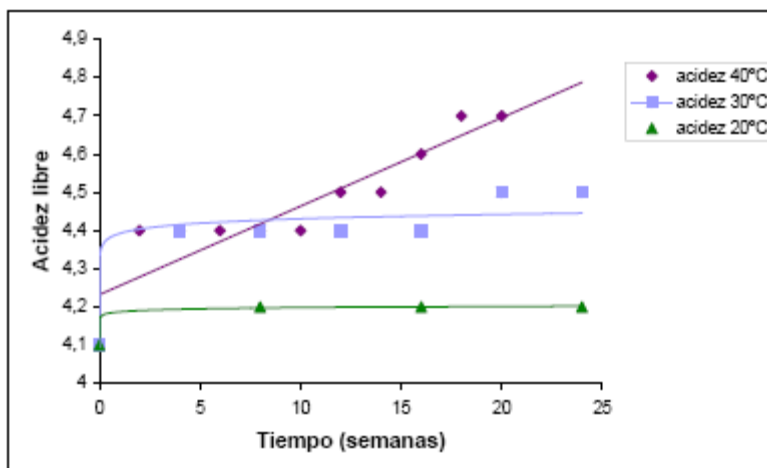


Figura 64. Evolución de la acidez libre de las muestras para las distintas temperaturas de almacenamiento, 20 °C, 30 °C y 40 °C. (Rubio, 2005)

De la Figura 64 se puede observar que a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento, aumenta el nivel de acidez del aceite. Esto se observa claramente para la temperatura de almacenamiento de 40 °C que tiene un porcentaje de ácido oleico inicial de 4,1% hasta alcanzar un nivel máximo de 4,7%. En cambio, para la temperatura de 20 °C el porcentaje de ácido oleico no aumenta en forma sustancial comparado con el

aceite almacenado a 40°C. Esta tendencia de aumento del nivel de acidez se observó en todas las muestras analizadas.

Tabla 23. Predicción de las ecuaciones para la evolución de la acidez libre a través del tiempo a distintas temperaturas de almacenamiento.

Temperaturas de almacenamiento	Ecuación	Coefficiente de correlación
20 ▲	$Y = 4,1872x^{0,0011}$	0,9982
30 ■	$Y = 4,3923x^{0,0038}$	0,9153
40 ◆	$Y = 0,0232x + 4,2318$	0,8283

(Rubio, 2005)

Donde:

Y = Acidez libre

x = Tiempo (semanas)

Con los datos obtenidos (Rubio, 2005) del contenido de acidez libre del aceite de quínoa de Paredones se realizó un estudio de la cinética del deterioro térmico, para determinar si los cambios hidrolífticos de este aceite correspondían a orden 0, orden 1 u orden 2.

De los estudios realizados por Rubio (2005) se observó la curva que presentó la mejor correlación lineal siendo en este caso la que determinó un orden 2 para los cambios hidrolífticos del aceite.

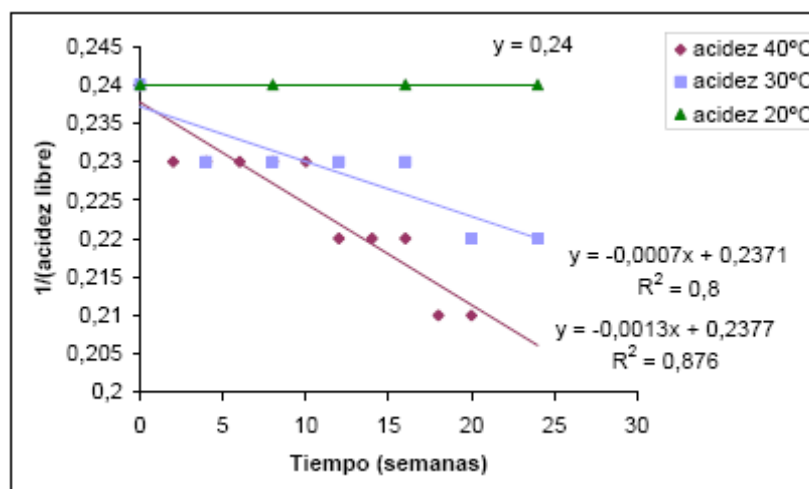


Figura 65. Representación de una cinética de orden 2 para los cambios hidrolífticos del aceite de quínoa de Paredones. (Rubio, 2005)

3.3.1.1.1 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 40°C.

Tabla 28. Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 40°C.

Tiempo (semanas)	Valor Promedio
0	4,1 ^a
2	4,4 ^b
4	4,4 ^{b,c}
6	4,4 ^{b,c}
8	4,4 ^{b,c}
10	4,4 ^{b,c}
12	4,5 ^{b,c,d}
14	4,5 ^{c,d}
16	4,6 ^{d,c}
18	4,7 ^c
20	4,7 ^c

(a,b,c,d y e) denotan diferencias significativas estadísticamente.

(Rubio, 2005)

De la tabla anterior se puede observar el aumento del porcentaje de ácido oleico a través del tiempo de almacenamiento. Cabe destacar que el aceite almacenado tiene un contenido inicial elevado de acidez, lo que indica que el aceite ya había iniciado el proceso de deterioro mientras se realizó el proceso de extracción.

3.3.1.1.2 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 30°C.

Tabla 29. Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 30°C.

Tiempo (semanas)	Valor Promedio
0	4,1 ^a
4	4,4 ^b
8	4,4 ^b
12	4,4 ^b
16	4,4 ^b
20	4,5 ^b
24	4,5 ^b

(a y b) denotan diferencias significativas estadísticamente.

(Rubio, 2005)

El análisis estadístico de los datos muestra que existen diferencias significativas para el porcentaje de ácido oleico entre el tiempo inicial de almacenamiento con el resto de las semanas. A su vez, para los otros tiempos analizados no existen diferencias significativas desde la semana cuatro hasta la semana 24 del tiempo de almacenamiento. Cabe destacar que el aceite almacenado tiene un contenido inicial elevado de acidez, lo que indica que el aceite ya había iniciado el proceso de deterioro mientras se realizó el proceso de extracción.

3.3.1.1.3 Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 20°C.

Tabla 30. Cambios hidrolíticos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 20°C.

Tiempo (semanas)	Valor Promedio
0	4,1 ^a
8	4,2 ^a
16	4,2 ^a
24	4,2 ^a

(a y b) denotan diferencias significativas estadísticamente.

(Rubio, 2005)

De la tabla anterior se puede observar que el nivel de acidez no se ve mayormente afectado por la temperatura de almacenamiento, esto porque el % de ácido oleico aumentó solo en una décima para las 24 semanas de almacenamiento y por lo tanto, el análisis estadístico de los datos refleja que no existen diferencias significativas para el porcentaje de ácido oleico a través del tiempo de almacenamiento. Cabe destacar que el aceite almacenado tiene un contenido inicial elevado de acidez, lo que indica que el aceite ya había iniciado el proceso de deterioro mientras se realizó el proceso de extracción.

3.3.1.2 Cambios oxidativos del aceite de quinoa de Paredones a las 3 temperaturas de almacenamiento.

Los cambios de oxidación se presentan a continuación:

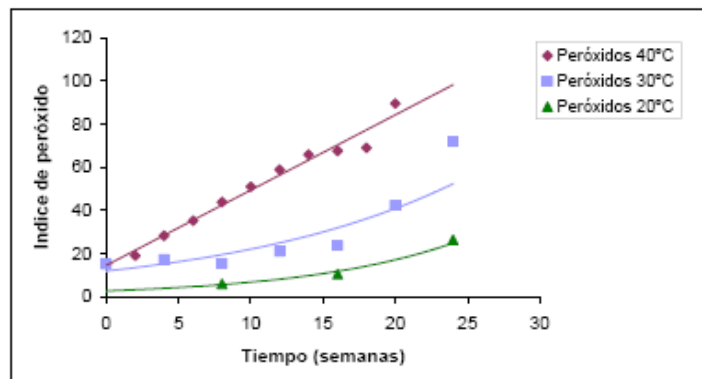


Figura 66. Evolución del índice de peróxidos de las muestras para las distintas temperaturas de almacenamiento, 20 °C, 30 °C y 40 °C. (Rubio, 2005)

La Figura 66 muestra la evolución del índice de peróxidos a través del tiempo para las tres temperaturas de almacenamiento. Es necesario señalar que el contenido inicial de peróxido es alto, debido a que durante el proceso de extracción se inició el deterioro oxidativo del aceite. Se puede observar un aumento del índice de peróxido en todas las temperaturas de almacenamiento, siendo este aumento mayor para 40 °C y menor para 20 °C (Rubio, 2005).

Las ecuaciones que relacionaron el índice de peróxido en función del tiempo se presentan a continuación.

Tabla 24. Predicción de las ecuaciones para la evolución del índice de peróxido a través del tiempo a distintas temperaturas de almacenamiento.

Temperaturas de almacenamiento	Ecuación	Coefficiente de correlación
20 ▲	$Y = 2,5638e^{0,0945x}$	0,9811
30 ■	$Y = 11,775e^{0,0621x}$	0,8315
40 ◆	$Y = 3,4859x + 14,386$	0,9769

(Rubio, 2005)

Donde:

Y = índice de peróxidos

x = Tiempo (semanas)

Para determinar el orden de la reacción se procedió de la misma manera que en el caso anterior para los cambios hidrolíticos del aceite.

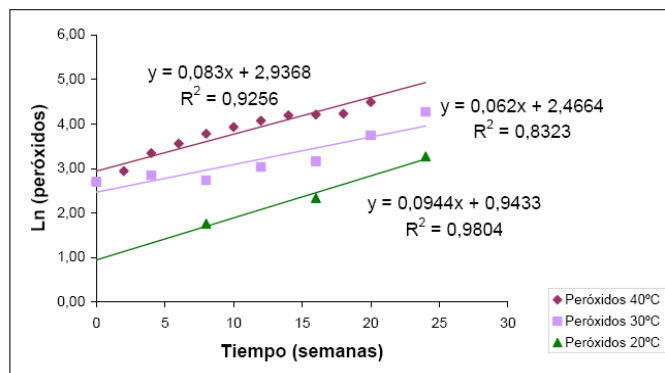


Figura 67. Representación de una cinética de orden 1 para los cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones. (Rubio, 2005)

Rubio (2005) encontró que la cinética de orden 1 concuerda con datos obtenidos por Labuza (1982) que indica que uno de los tipos de deterioro con orden 1 es la rancidez.

A continuación se presentan los cambios oxidativos del aceite de quínoa almacenado a 40°C, 30°C y 20°C.

3.3.1.2.1 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 40°C.

Tabla 25. Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 40°C.

Tiempo (semanas)	Valor Promedio
0	14,9
2	18,9
4	28,1
6	35,1
8	43,7
10	50,8
12	58,7
14	65,7
16	67,5i
18	68,9
20	89,4

(Rubio, 2005)

3.3.1.2.2 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 30°C.

Tabla 26. Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 30°C.

Tiempo (semanas)	Valor Promedio
0	14,1
4	17,1
8	15,3
12	20,8
16	23,5
20	42,3
24	71,7

(Rubio, 2005)

3.3.1.2.3 Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 20°C.

Tabla 27. Cambios oxidativos del aceite de quínoa de Paredones almacenado a 20°C.

Tiempo (semanas)	Valor Promedio
8	5,8
16	10,3
24	26,3

(Rubio, 2005)

BIBLIOGRAFIA

1. Albarrán, A. (1993). "Estudio de algunos componentes químicos, caracteres morfoanatómicos y patrones proteícos en semillas de dos ecotipos de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd)". Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Univesidad de Concepción. Chillán, Chile.
2. Araneda, G. (2005). Obtención, caracterización y estudio de vida útil de la harina integral de quínoa orgánica de la región VI. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile.
3. CRS, TAP, FAO. (2003). Estudio de quinua, Ecuador.
4. De Bruin, A. (1964). Investigation of the food value of quinoa and canihua seed. *J. Food Sci.* 29:872-876.
5. Gajardo, P. (2005). "Caracterización y determinación de la estabilidad durante el almacenamiento de las proteínas de harina de quínoa orgánica sin pulir y pulida proveniente de la VI región de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile.
6. Gonzalez, F. (2005). Extracción de aceite de quínoa (*Chenopodium quinoa* Wild) mediante estándares orgánicos y su posterior caracterización fisicoquímica. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile..
7. IESN – Chile. (2001). Consciencia natural: una estrategia de salud para toda la vida.
8. Knight, D.C.; Eden, J.A.(1996). A review of the clinical effects of phytoestrogens . *Obstet Gynecol* 87 (5 Pt2):897-904.

9. Koziol, M.J. (1993). Quinoa: a potencial new oil crop. En: J. Janick y J.E. Simon (eds) *New crops* pág 328-336, Wiley, New York.
10. Labuza, T. P.(1982). *Shelf-life dating of foods*. Foods & Nutrition Press. Westport, Connecticut, USA. 999 p
11. Mahajan, A. y Dua, S. (2002). “ Salts and Ph induced changes in fuctional properties of amaramth (*Amaranthus tricolor* L.) SEED MEAL”. *Cereal Chemistry* 79 (6):834-837.
12. Masson, L y Mella, M. (1985). *Materias grasas de consumo habitual y potencial en Chile*, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Ed. Universitarias, Universidad de Chile. Ministerio de Salud. (2003). *Reglamento Sanitario de los Alimentos*, Ediciones Publiley, Stgo, Chle.
13. Ogungbenle, H.N.(2003). *Nutriotional evaluation and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa flour)*.
14. Olivares, C. (2005). *Caracterización del grano de quinoa (Chenopodium quinoa Willd) de tres ecotipos de la region VI. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos*, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile.
15. Oshodi, A.A.; Ogungbenle, H.N. y Oladimej, M.O. (1999). *Chemical composition, nutritionally valuable minerals and functionally properties of benniseed, pesrl millet and quinoa flour*, *Int. J. Foods London Royal Society of Chemistry*.
16. Pajarito, J.L. (2005). *Obtención y caracterización de la harina integral de quinoa orgánica de la región VI. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos*, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile.
17. Peralta, E. (1985). *La quinoa...Un gran alimento y su utilización*. Ecuador, INIA. Boletín divulgativo N°175.

18. Ruales, J.; De Grijalva, Y. ; López- Jaramillo, P. y Nair, B. (2002). The Nutritional quality o fan infant food from quinoa and its effect on the plasma level of insulin-like growth factor -1(IGF-1) in undernourished children. International Journal of Food Sciences and Nutrition Vol 53, pág. 143-154.
19. Rubio Z., Y. (2005). Extracción de aceite de quínoa (*Chenopodium quínoa* Wild) y su caracterización de dos ecotipos provenientes del secoano costero de la región VI de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile.
20. Sadqi, M. (2000). “Estudio termodinámico de los estados parcialmente plegados del dominio SH 3 de α -espectrina”. Tesis (Doctor en Ciencias Químicas). Granada, España. Universidad de Granada, Departamento de Qca. Física. Pág. 39-64.
21. Villarroel, A.C. (2005). “Obtención de harina de quínoa proveniente de dos ecotipos de semillas, caracterización bioquímica y funcional y determinación de la estabilidad de las proteínas durante el almacenamiento a temperaturas disimiles”. Memoria para optar al título de Ingeniero en alimentos, Fac. de Ciencias Qcas. y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Stgo., Chile.