



C I I T E D

# Obtención de hidrolizados proteicos de quinoa y evaluación de sus propiedades



**GIDANO**  
Grupo de Investigación y Desarrollo  
de Alimentos del Norte Argentino

Dr. Julio Rueda

[jrueda@fca.unju.edu.ar](mailto:jrueda@fca.unju.edu.ar)

El Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA. UNJu-CONICET



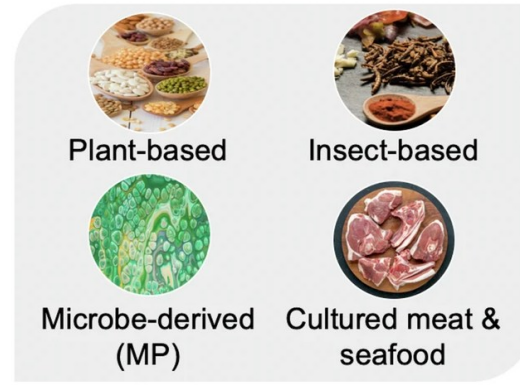
## ¿Qué son las proteínas alternativas?

Las **proteínas alternativas** constituyen un conjunto diverso de fuentes proteicas no convencionales que abarcan **proteínas microbianas** (p. ej., microalgas y micoproteínas), **proteínas derivadas de insectos**, **carne cultivada mediante tecnologías celulares**, así como **sustitutos vegetales de carne y lácteos**. Este grupo integra tanto fuentes tradicionales históricamente subutilizadas como innovaciones emergentes de base biotecnológica.

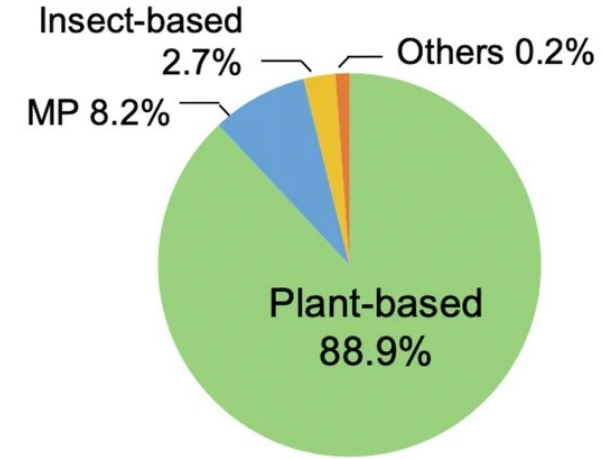
Especies subexplotadas (underutilized crops)

Estimación FAO:  
El **90%** de la energía alimentaria proviene de apenas **15 especies** de plantas de las **30 mil especies comestibles**.

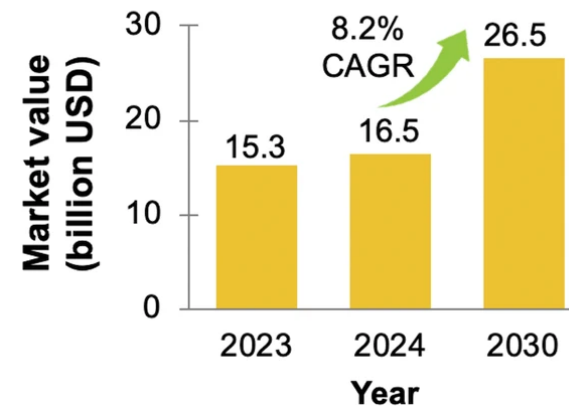
### Currently available alternative proteins



### Market Volume in 2023



### Projected Global Market Growth



### Key Benefits

#### Environment

- Less land and water
- Low GHG emission
- Less issues of AMR and biodiversity loss

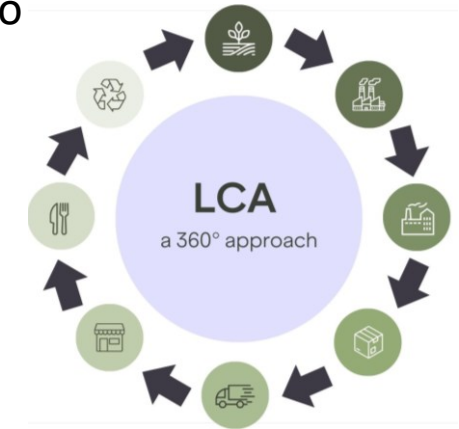
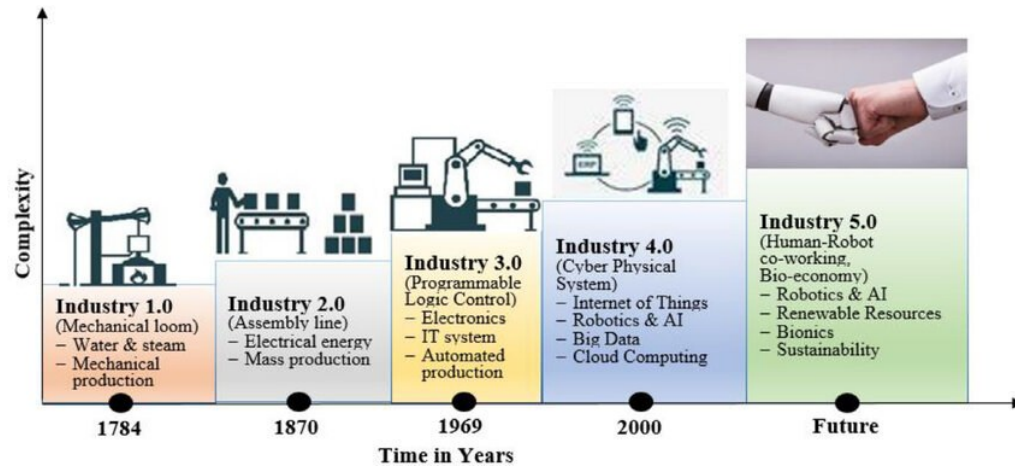
#### Health

Low to non saturated fat and cholesterol

## ¿Por qué proteínas alternativas?

Su relevancia radica en el potencial para **sustituir parcialmente las proteínas provenientes de sistemas agroalimentarios ambientalmente insostenibles**, contribuyendo a la **mitigación del impacto ambiental y de la huella de carbono**, al tiempo que refuerzan la **resiliencia y seguridad alimentaria global** en un contexto de creciente expansión del mercado.

Industry 5.0 estrategia clave en para la competitividad sostenibilidad de la industria europea.



**THE INDUSTRY 5.0 AWARD**  
Recognising outstanding EU-funded projects

European Commission

© European Union, 2023

Key themes: SUSTAINABLE, HUMAN-CENTRIC, RESILIENT

Hashtags: @EUScienceInnov, #Industry5.0, #ResearchImpactEU

## ¿Por qué proteínas alternativas?



## Aspectos saludables y nutricionales de proteínas alternativas

### Percepción de salud

Asociadas a menor riesgo que carnes rojas/procesadas

.Evidencia científica directa aún limitada

Clasificación frecuente como *ultraprocesados* genera desconfianza en consumidores.

### Calidad proteica

Menor calidad por bajo contenido de aminoácidos esenciales (lisina, metionina/azufrados).

Solo quinoa, soja, arroz, arveja, maíz y papa cumplen con FAO/WHO.

Avena, lupino, trigo y cáñamo quedan por debajo.

Posible mejorar mezclando fuentes, pero lisina/isoleucina/leucina son limitantes.

### Micronutrientes

Plant-based: sin vitamina B12 y bajos en hierro/zinc.- Microbios y carne cultivada: también bajos en minerales.- La fortificación es posible, pero la biodisponibilidad necesita más investigación.

### Procesamiento

Elaborados con proteínas aisladas + aceites + saborizantes + colorantes para imitar carne.

Por su formulación, suelen clasificarse como *ultraprocesados*.- Procesamiento reduce biometabolitos beneficiosos (p.ej. polifenoles).

### Composición nutricional (productos comerciales)

↓ Energía y ↓ grasas saturadas vs. productos animales.

↑ Fibra dietaria.-

↑ Contenido de sal.-

Proteína ↓ en la mayoría de los productos vegetales; insectos y microbios pueden igualar la proteína animal.

## Proteínas vegetales – Limitaciones tecnológicas

- Son proteínas predominantemente **globulares**, almacenadas en semillas o tubérculos → requieren **procesos de extracción intensivos ocasionando desnaturalización y agregación**, afectando funcionalidad.
- Forman geles y emulsiones, pero **requieren concentraciones mayores** para igualar la textura de proteínas animales.
- Soja y arveja tienen buenas propiedades funcionales, pero necesitan **mayor temperatura y tiempo** para obtener texturas similares a productos animales (ej. huevo).
- **Extrusión** es el método principal para productos tipo carne:
  - Baja humedad → TVP (texturizados vegetales) con textura distinta a la carne.
  - Alta humedad → estructuras fibrosas más parecidas al músculo, pero energéticamente intensivo y complejo de controlar.
- Persisten problemas sensoriales: **baja jugosidad, menor cohesividad y textura fibrosa**.
- Requieren adición de **coadyuvantes, colorantes y saborizantes**, en conflicto con la demanda de “clean label” y el rechazo a los “ultraprocesados”.



## ¿Qué son los pseudocereales?

Los pseudocereales son especies vegetales dicotiledóneas cuyas semillas se consumen de manera similar a los cereales tradicionales, pero no pertenecen a la familia Poaceae.

Se caracterizan por poseer alto contenido de proteínas, perfiles de aminoácidos esenciales más equilibrados que los cereales, ausencia de gluten y una matriz rica en compuestos bioactivos. quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranto (*Amaranthus* spp.) y trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench.).

A nivel funcional y tecnológico, sus granos presentan características similares a las de los cereales, pero debido a su diferente origen botánico poseen fracciones proteicas predominantes de tipo albuminas y globulinas, a diferencia de los cereales, donde dominan prolaminas y glutelinas.

Los pseudocereales destacan por aportar proteínas de mayor calidad nutricional, con contenidos elevados de lisina, aminoácido limitante en la mayoría de los cereales, y por ofrecer ventajas en términos de adaptabilidad agronómica, tolerancia al estrés ambiental y valor nutracéutico.



## Los pseudocereales como fuentes de proteínas alternativas

### 1. Alta calidad proteica

- Tienen **mayor proporción de aminoácidos esenciales**, especialmente **lisina**, limitante en los cereales tradicionales.
- Algunos presentan **valores biológicos y digestibilidad comparables a proteínas animales**.

### 2. Ausencia de gluten

- Permiten elaborar **alimentos aptos para celíacos**, ampliando el acceso a proteínas funcionales.

### 3. Matriz rica en compuestos bioactivos

- Contienen polifenoles, flavonoides y fibra con potencial antioxidante e inflamatorio.

### 4. Buena funcionalidad para formulaciones

- Las fracciones proteicas (albuminas y globulinas) favorecen:

- Espumado
- Emulsificación
- Gelificación
- Solubilidad relativamente alta

- Ideal para **análogo cárnico, panificados funcionales y bebidas vegetales**.  
(Janssen et al., 2017)

### 5. Sostenibilidad agronómica

- Elevada tolerancia a **sequía, heladas, salinidad y suelos pobres**.
- Requieren menos insumos químicos y se adaptan al cambio climático.

### 6. Diversificación de fuentes proteicas

- Contribuyen a la seguridad alimentaria y a reducir dependencia de soja, trigo o maíz.

(FAO, 2011)

### Sostenibilidad ambiental

- La quinoa crece en **suelos salinos, áridos y con escasas precipitaciones** (150–200 mm/año)
- Requiere **menor uso de fertilizantes nitrogenados y pesticidas** que la soja o el trigo, lo que implica **menor huella de carbono y eutrofización**.
- Estudios de ciclo de vida estiman su **huella de carbono entre 1.3 y 2.5 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg**, inferior al promedio de cereales convencionales (3–4 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg de proteína vegetal).



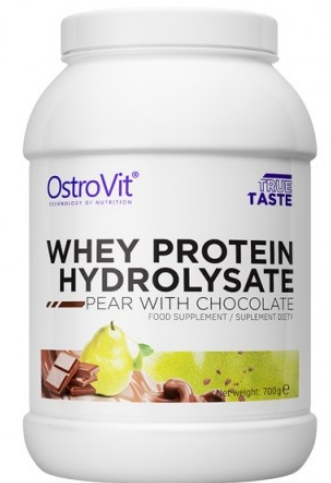
# Obtención de hidrolizados proteicos de quinoa y evaluación de sus propiedades

Quinoa nativa de Jujuy Argentina

Proteína de quinoa  
(concentrado proteico)

Hidrolisis enzimática controlada

Propiedades bioactivas y tecnofuncionales



## Composición proximal de variedades de quínoa producidas en Jujuy

Composición proximal (g/100 g semillas en base húmeda) de variedades de quínoa cultivadas en la provincia de Jujuy					
Variedad	proteínas	lípidos	cenizas	humedad	carbohidratos*
kamiri	15,21 <sup>a</sup> ±0,02	5,84 <sup>ba</sup> ±0,19	3,33 <sup>a</sup> ±0,00	10,05 <sup>a</sup> ±0,03	65,26
hornillos	13,02 <sup>c</sup> ±0,01	6,51 <sup>a</sup> ±0,09	3,34 <sup>a</sup> ±0,04	10,02 <sup>a</sup> ±0,10	67,13
nariño pasto	13,80 <sup>b</sup> ±0,09	7,08 <sup>a</sup> ±0,17	3,45 <sup>a</sup> ±0,02	10,51 <sup>a</sup> ±0,12	65,08
inga pirca	13,17 <sup>bc</sup> ±1,05	6,55 <sup>a</sup> ±0,11	3,52 <sup>a</sup> ±0,01	10,63 <sup>a</sup> ±0,02	66,11

Valor medio ± desviación estándar (n=2)  
 \*obtenidos por diferencia (Carbohidratos= 100-proteinas-lipidos-cenizas-humedad)  
 Letras distintas significan diferencia estadísticamente significativa (p<0,05)

## Evaluación de la solubilidad proteica de quínoa y obtención de concentrados proteicos

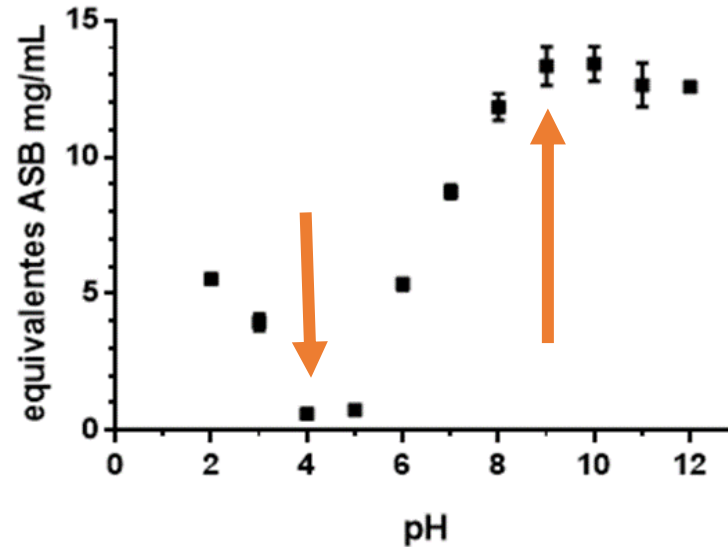


Figura 1. Solubilidad de proteínas de quínoa (equiv. ASB/mL) a distintos pH empleando HCL o NaOH 0,3 M. Los datos representan valor medio  $\pm$  desviación estándar (n=2).

## Procesamiento de granos: diferentes sustratos, distintos productos

### EXTRUSIÓN:

- Extrusora INCALFER DT65 de doble tornillo
- Granos con 28% de humedad (agua destilada)
- Frecuencia tornillo, alimentadora y el cortador: 8,7; 12,1 y 17,1 Hertz
- Temperatura de cada zona : 45, 90 y 100°C



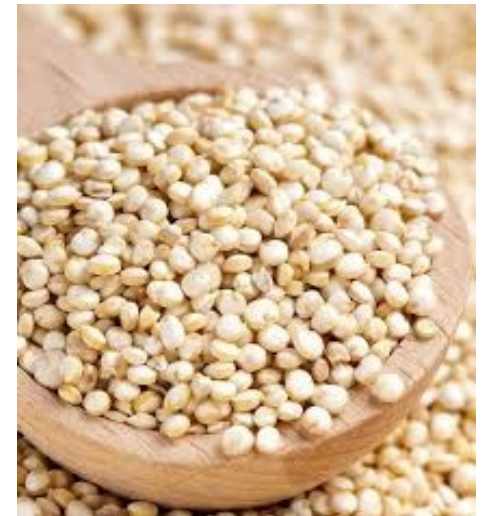
### GERMINACIÓN

- Temperatura: 30°C
- Humedad: 80-90%
- Iluminación: No
- Tiempo 24 h



### GRANOS SIN PROCESAR

Desaponificación por lavado y secado a 40°C



# Concentrados proteicos: Proceso de obtención



Harinas de granos extrudidos, germinados y sin procesar

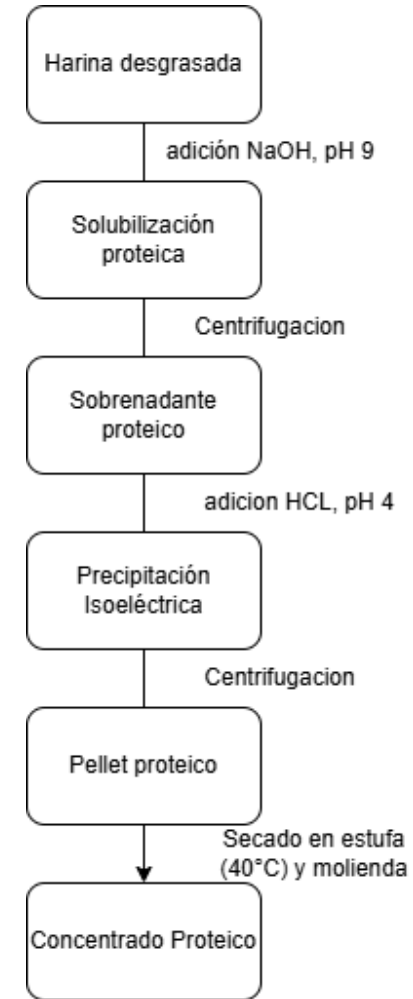


Concentrados proteicos

extrusión

germinación

control



## Concentrados proteicos extrudidos, germinados y sin proceso: composición proximal y perfil electroforético

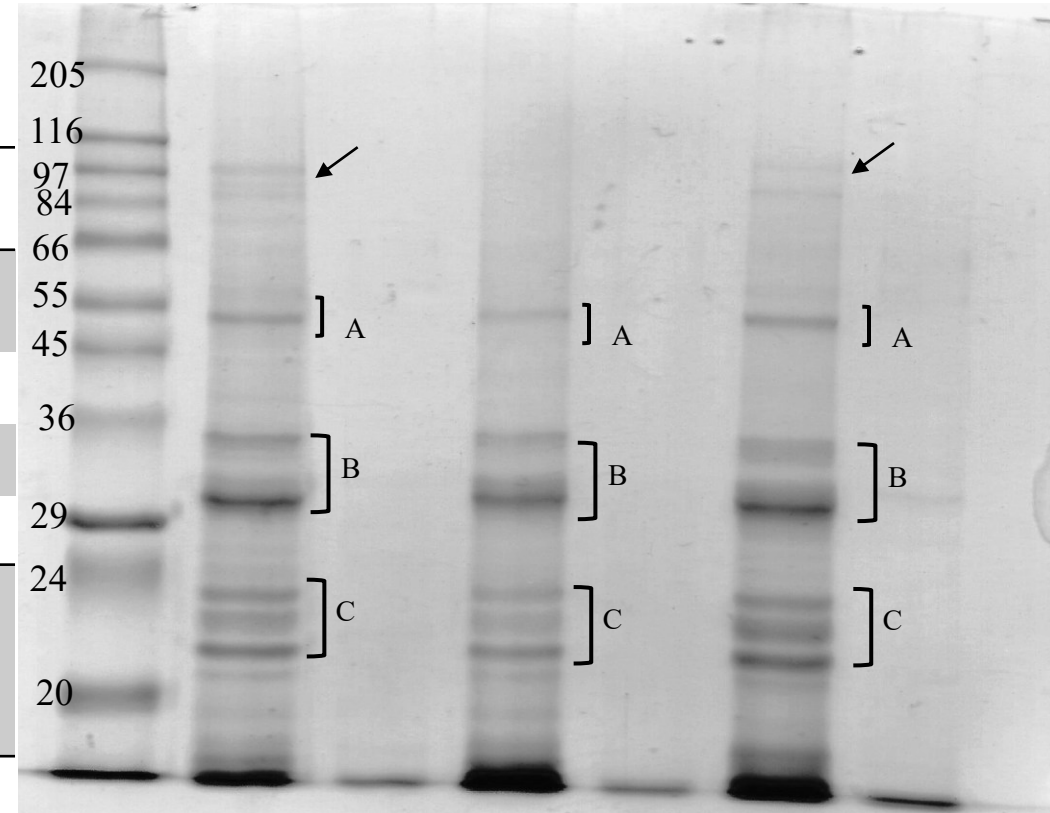
**Composición proximal porcentual ( g/100 g) de concentrados proteicos de quínoa con y sin tratamientos**

Concentrado	proteínas	humedad	cenizas	hidratos de carbono*
CPQ	61.61 <sup>a</sup> ± 0.43	7,49 <sup>b</sup> ± 0,01	2,26 <sup>a</sup> ± 0,04	28,65 <sup>b</sup>
CPE	56,14 <sup>b</sup> ± 1,55	6,72 <sup>b</sup> ± 0,06	4,07 <sup>a</sup> ± 0,06	33,07 <sup>a</sup>
CPG	52,05 <sup>c</sup> ± 1,32	10,15 <sup>a</sup> ± 0,10	2,39 <sup>a</sup> ± 0,04	35,40 <sup>a</sup>

\*obtenidos por diferencia: (100 - proteínas-humedad-cenizas)

Valor medio ± desviación estándar (n=2)

Letras distintas en una misma columna significan diferencia estadística significativa (p<0,05)

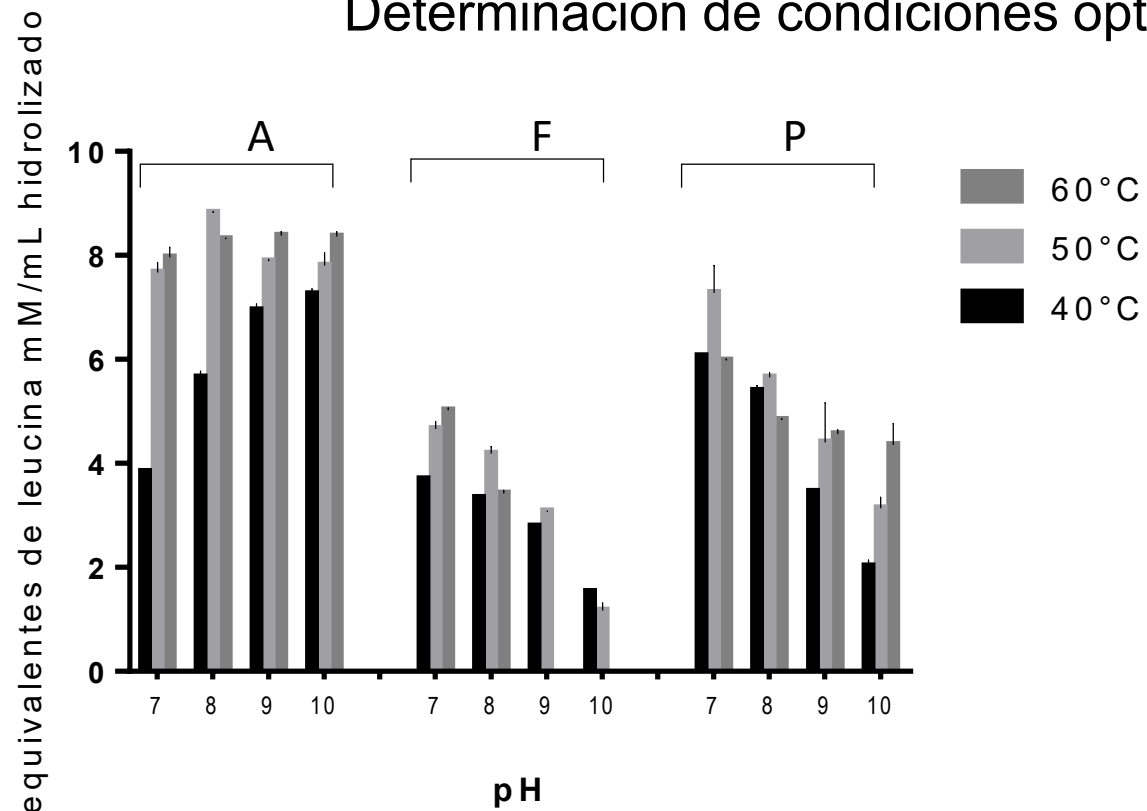


Perfil electroforético de proteínas de quínoa solubles.  
 Calles 2, 4 y 6: sobrenadantes luego de la solubilización a pH 9  
 Calles 3, 5 y 7: sobrenadantes luego de la precipitación a pH 4.  
 A: Polipeptidos de 45 KDa; B: poipeptidos de 32-28 Kda; C: polipeptidos de 26-24 kDa.

## Etapa de obtención de concentrados

1. El contenido de proteína de la variedad Hornillos es alto y por lo tanto es una variedad útil para el procesamiento.
2. El estudio de solubilidad de proteínas de quínoa mostró que los valores de pH de máxima y mínima solubilidad fueron 9 y 4, respectivamente.
3. Los concentrados proteicos obtenidos de granos sin tratamiento, extrudidos y germinados tienen buen contenido de proteínas (52-61%).
4. Los tratamientos de extrusión y germinación en las condiciones propuestas, no modificaron la proteína principal de la quínoa (quenopodina).

## Determinación de condiciones óptimas y poder catalítico de las enzimas



Condiciones óptimas de hidrólisis y poder catalítico de enzimas comerciales

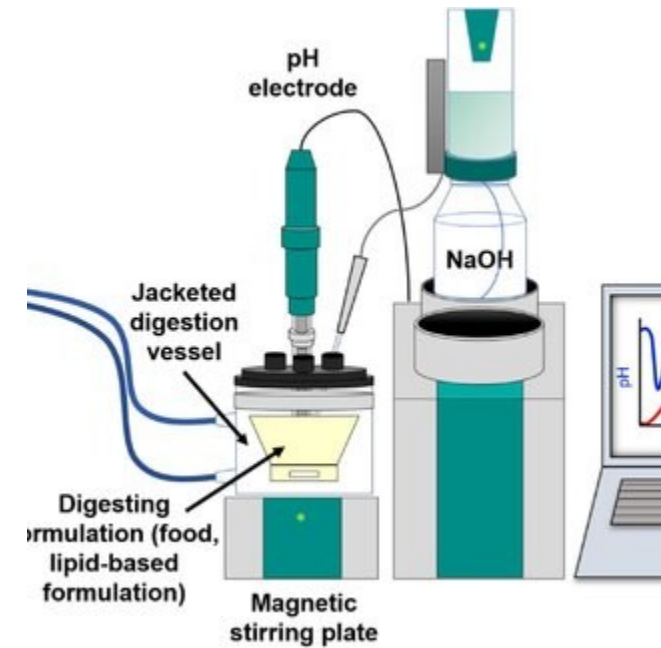
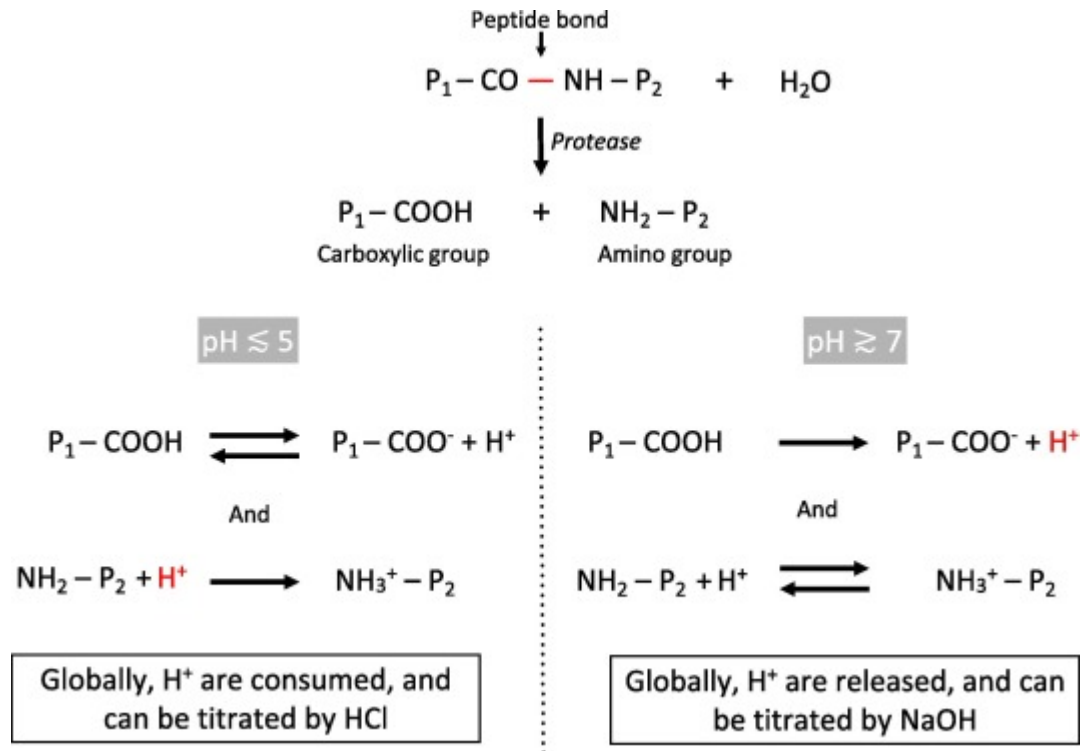
	Temperatura	pH	UP
<b>Alcalasa</b>	50	8	220
<b>Flavourzima</b>	60	7	125
<b>Protamex</b>	50	7	182

UP: unidades proteolíticas/min/mL

Hidrólisis enzimática de proteínas de quínoa.  
 Equivalentes de leucina (mM/mL hidrolizado). Media  $\pm$  desviación estándar.  
 A: alcalasa; F: flavourzima; P: protamex. A pH 7, 8, 9 y 10 y temperaturas 40, 50 y 60°C.



## Preparación de hidrolizados proteicos: Método pH-stat



$$DH = 100 \times \frac{V \times N}{m \times h_{tot}} \times \frac{1}{\alpha_{NH_2}}$$

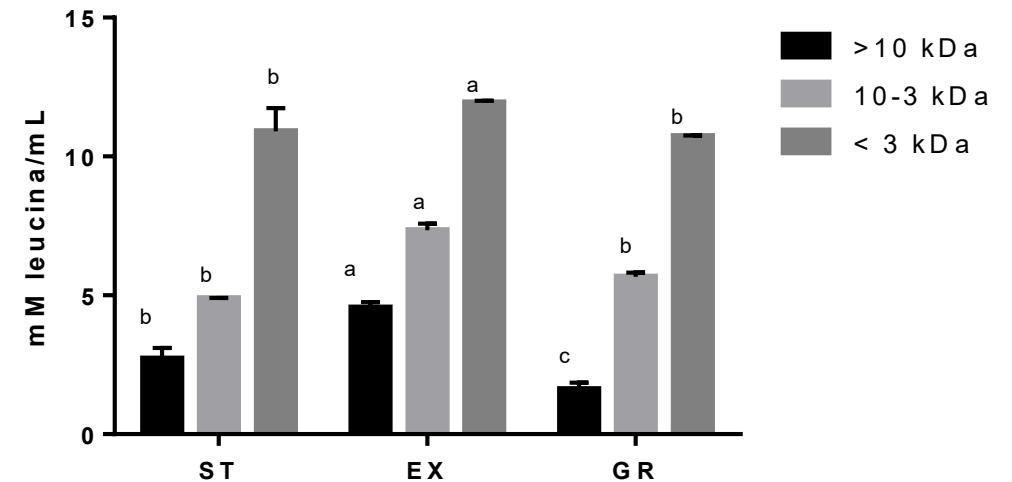
## Hidrolisis de los concentrados proteicos de granos pre-tratados y sin tratar con alcalasa

Hidrólisis de concentrados proteicos de granos de quínoa procesados y sin procesamiento

Tiempo (min)	CPQ	CPG	CPE
0	0	0	0
30	28,45 <sup>a</sup> ±1,00	23,98 <sup>b</sup> ±3,32	25,04 <sup>ab</sup> ±0,83
60	31,27 <sup>a</sup> ±1,00	27,74 <sup>a</sup> ±2,66	28,80 <sup>a</sup> ±0,83
120	34,56 <sup>a</sup> ±1,00	27,51 <sup>b</sup> ±1,00	30,91 <sup>ab</sup> ±0,83
180	35,38 <sup>a</sup> ±0,83	30,09 <sup>b</sup> ±3,32	31,85 <sup>ab</sup> ±0,83

Grado de Hidrólisis (GH %) a diferentes tiempos, Valor medio ± Desviación estándar (n=2)  
 CPQ: concentrado proteico de granos de quínoa nativos; CPG: concentrado proteico de granos de quínoa germinados; CPE: concentrado proteico de granos de quínoa extruidos.  
 Distintas letras en la misma fila indican diferencias significativas (p<0.05).

## Caracterización de tamaño molecular de los hidrolizados



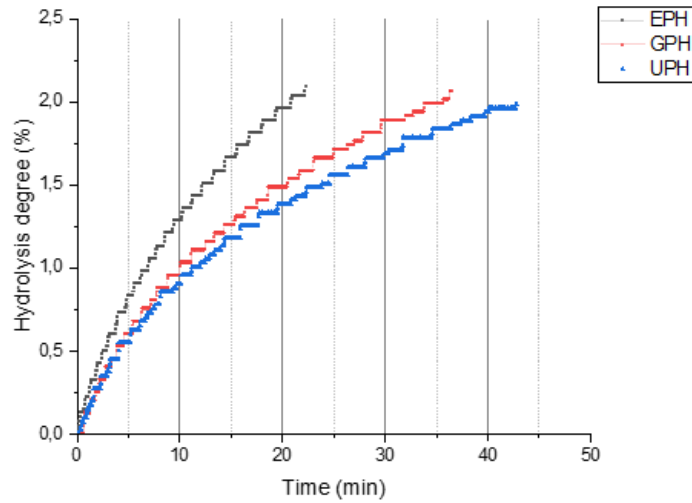
Distribución de grupos amino (mM leucina/mL hidrolizado) en fracciones moleculares (<10; 10-3 y <3 kDa. ST: quínoa sin tratamiento; EX: quínoa extruida; GR: quínoa germinada. Valor medio ± desviación estándar (n=2). Distintas letras en la misma fracción molecular (A-C) indican diferencia significativa (p<0,05).

## Etapa obtención de hidrolizados

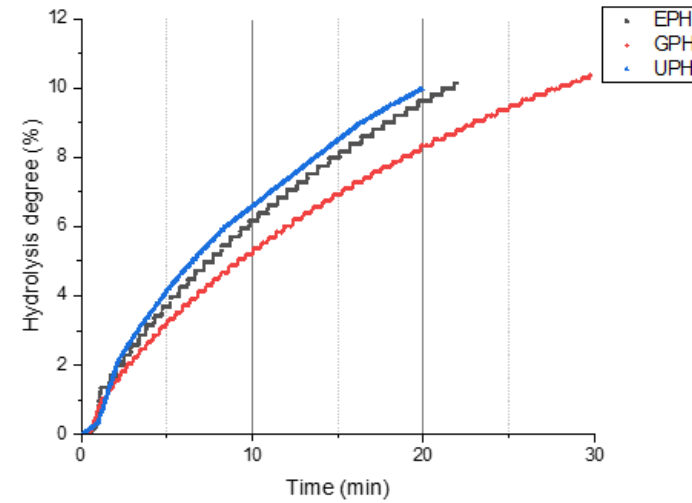
1. En base a los resultados obtenidos se pudo establecer las condiciones óptimas de pH, temperatura y para la hidrólisis de proteínas de quínoa.
2. Alcalasa tuvo mayor poder catalítico y fue la enzima mas adecuada para la producción de hidrolizados proteicos de quínoa
3. Se logró obtener hidrolizados con grado de hidrolisis alto (33-35%), lo cual es adecuado para la evaluación de propiedades bioactivas.
4. Se observó que el tratamiento previo de los granos afectó la hidrolisis proteica de modo significativo, lo cual podría indicar hidrolisis diferenciada en cada uno de los concentrados.

## Producción de hidrolizados proteicos de quinoa a 2, 5 10 y 20% de grado de hidrolisis

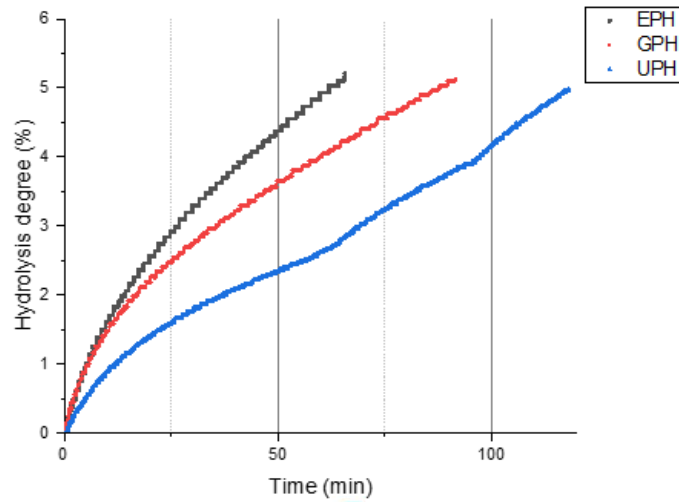
2%



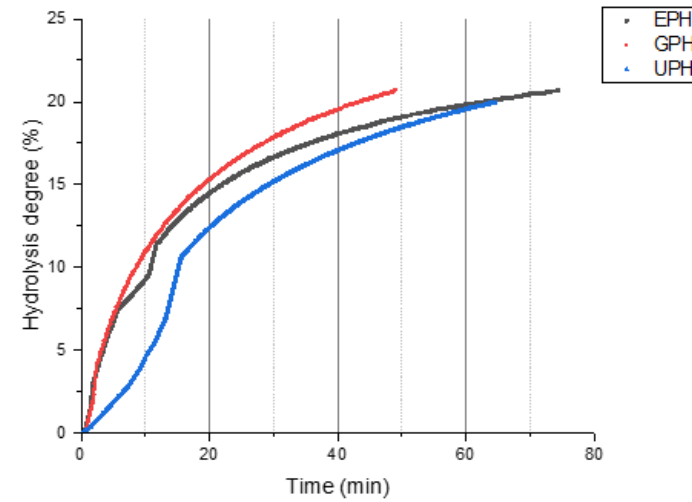
5%



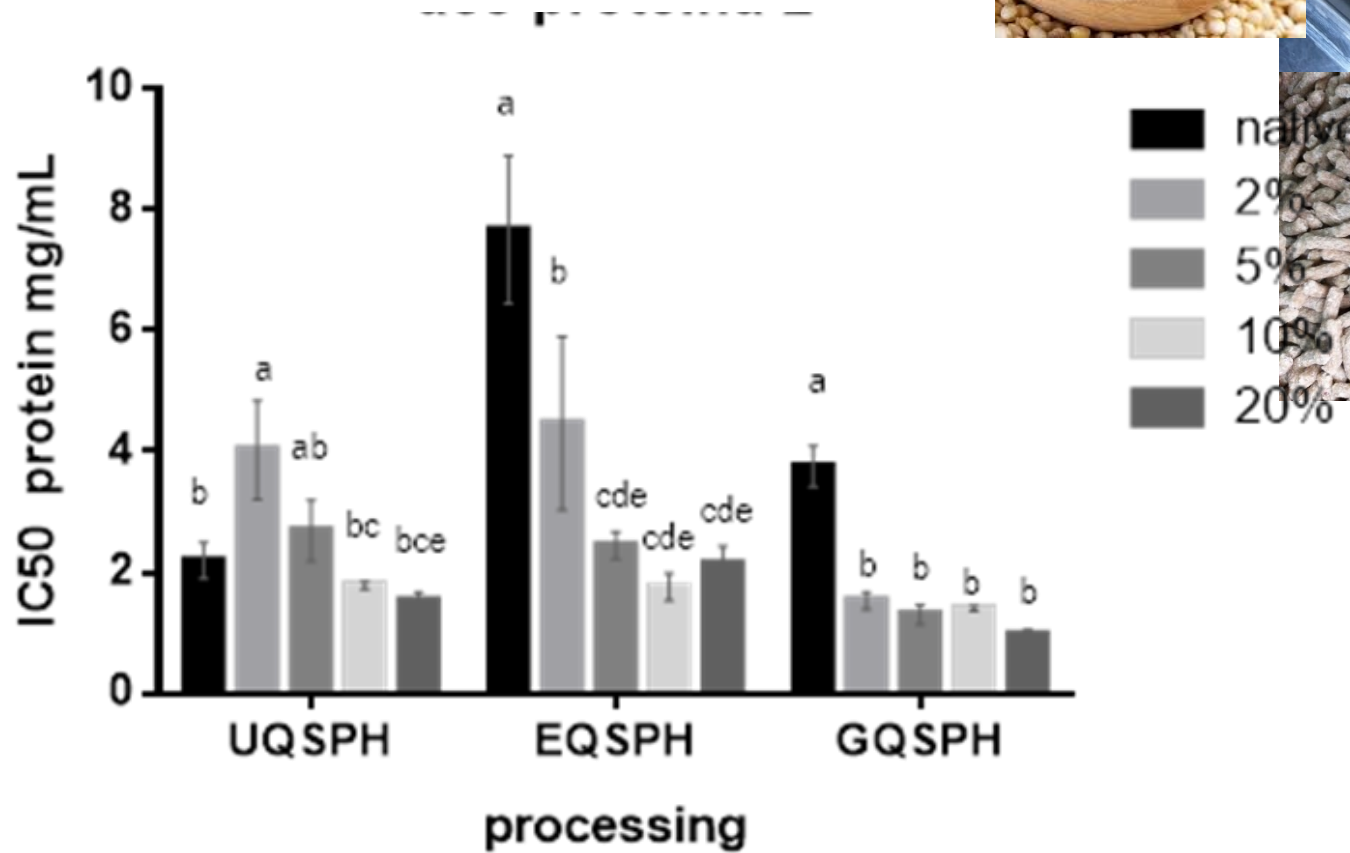
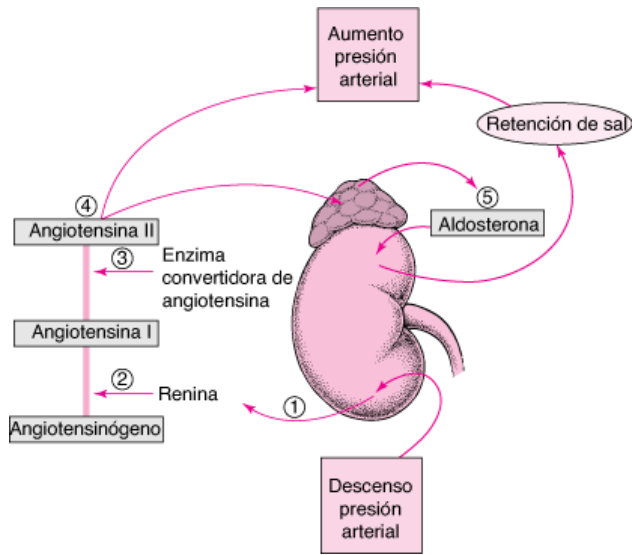
10%



20%



# Actividad antihipertensiva (Inhibición de la enzima convertidora de angiotensina)



## Actividad antioxidante

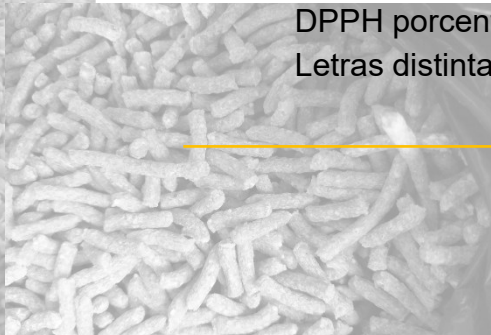
Actividad antioxidante de hidrolizado proteico de quínoa a diferentes tiempos

Tiempo (min)	Alcalasa		Flavourzima		Protamex	
	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH
0	20.9 ±0.2 <sup>c</sup>	9.3 ±2.7 <sup>a</sup>	20.9 ±0.2 <sup>a</sup>	9.3 ±2.7 <sup>a</sup>	20.9 ±0.2 <sup>d</sup>	9.3 ±2.7 <sup>a</sup>
30	105.1 ±3.7 <sup>b</sup>	20.0 ±4.0 <sup>b</sup>	10.9 ±0.3 <sup>b</sup>	9.6 ±1.0 <sup>a</sup>	42.8 ±1.4 <sup>c</sup>	11.3 ±3.0 <sup>a</sup>
60	110.9 ±1.3 <sup>ab</sup>	11.78 ±1.4 <sup>ab</sup>	15.1 ±0.5 <sup>b</sup>	9.4 ±0.5 <sup>a</sup>	50.0 ±1.2 <sup>c</sup>	12.3 ±3.3 <sup>a</sup>
120	102.9 ±2.4 <sup>b</sup>	10.8 ±2.5 <sup>a</sup>	15.3 ±0.6 <sup>b</sup>	4.0 ±0.9 <sup>a</sup>	60.1 ±2.6 <sup>b</sup>	14.1 ±0.7 <sup>a</sup>
180	119.19 ±8.7 <sup>a</sup>	7.6 ±6.2 <sup>a</sup>	12.7 ±2.0 <sup>b</sup>	14.8 ±2.4 <sup>b</sup>	75.7 ±0.6 <sup>a</sup>	12.5 ±1.3 <sup>a</sup>

ABTS equivalentes µg de ac. ascorbico /mL hidrolizado (0,01g proteína/mL)

DPPH porcentaje de inhibición de 0,1 mL de hidrolizado

Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa (p <0,05)



## Evaluación de actividad antioxidante

Actividad antioxidante de concentrados e hidrolizados de quínoa con distintos tratamientos y grados de hidrólisis (GH).

GH (%)	Tratamiento	IC50 mg hidrolizado/mL	
		DPPH	Capacidad quelante
0	ST	1,83 ± 0,30 <sup>aB</sup>	8,51 ± 0,97 <sup>aA</sup>
	E	4,71 ± 0,39 <sup>aA</sup>	3,68 ± 0,07 <sup>aB</sup>
	G	1,32 ± 0,36 <sup>aB</sup>	4,98 ± 0,18 <sup>aC</sup>
2	ST	1,29 ± 0,24 <sup>aA</sup>	7,50 ± 0,21 <sup>aA</sup>
	E	0,80 ± 0,27 <sup>bA</sup>	3,52 ± 0,14 <sup>aB</sup>
	G	0,77 ± 0,28 <sup>acA</sup>	4,51 ± 0,70 <sup>aC</sup>
5	ST	1,73 ± 0,21 <sup>aA</sup>	6,32 ± 0,86 <sup>bA</sup>
	E	1,10 ± 0,18 <sup>bB</sup>	3,30 ± 0,25 <sup>aB</sup>
	G	0,55 ± 0,13 <sup>bcB</sup>	6,31 ± 0,30 <sup>bA</sup>
10	ST	1,96 ± 0,17 <sup>bA</sup>	2,03 ± 0,48 <sup>cA</sup>
	E	1,55 ± 0,37 <sup>cbA</sup>	2,32 ± 0,32 <sup>abA</sup>
	G	0,77 ± 0,05 <sup>abB</sup>	4,70 ± 0,23 <sup>aB</sup>
20	ST	2,05 ± 0,54 <sup>bA</sup>	1,29 ± 0,01 <sup>cA</sup>
	E	1,52 ± 0,02 <sup>cbA</sup>	1,32 ± 0,13 <sup>bcA</sup>
	G	0,63 ± 0,14 <sup>bcB</sup>	4,45 ± 0,41 <sup>aB</sup>

Distintas letras en los mismos tratamientos (a-c) y mismo GH (A-C) indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )

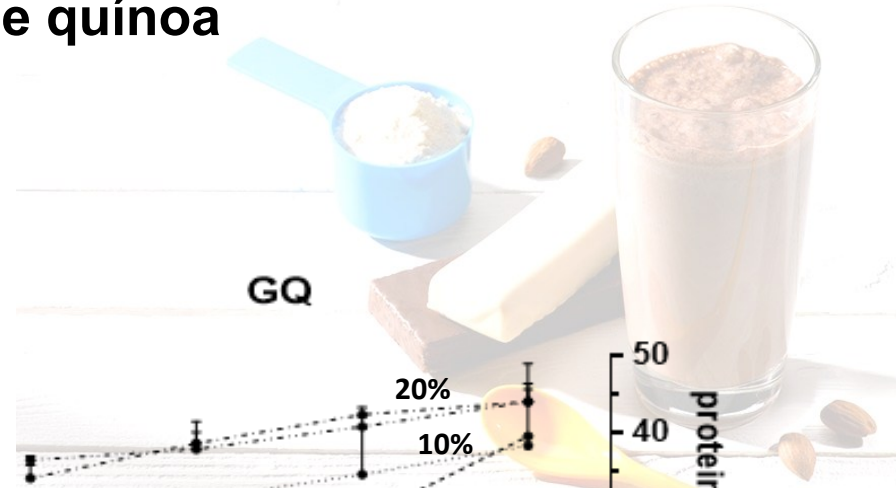
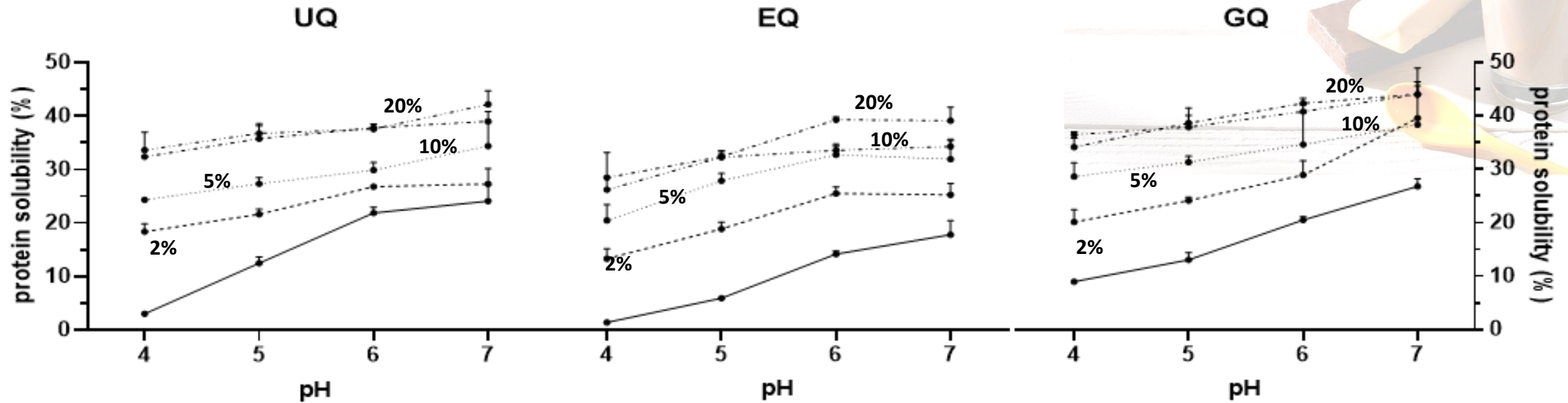
Promedio ± desviación estándar (n=3)

ST (sin tratamiento); E (extrusión); G (germinación)

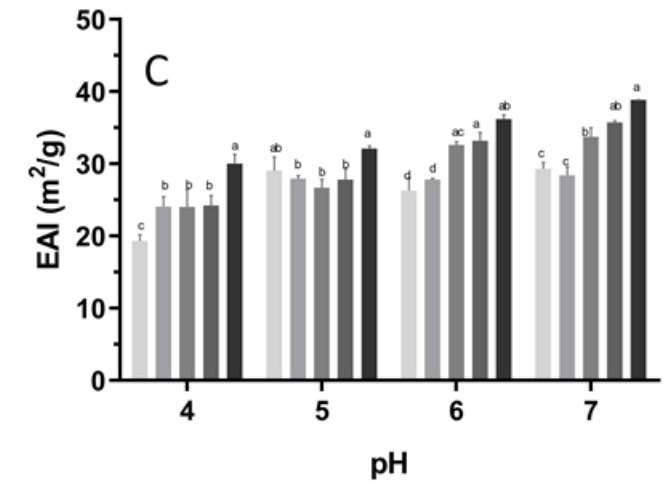
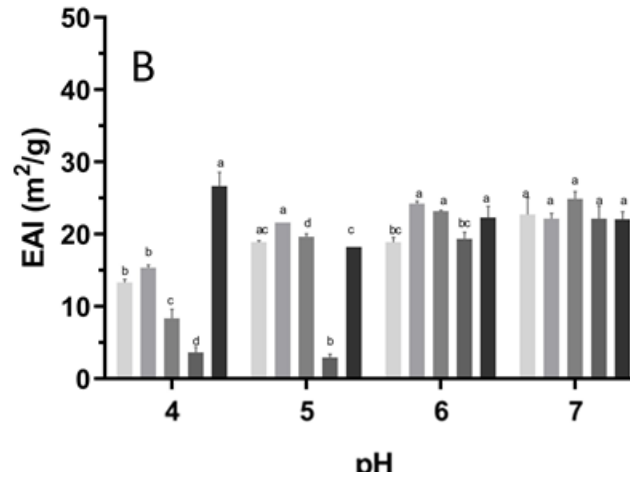
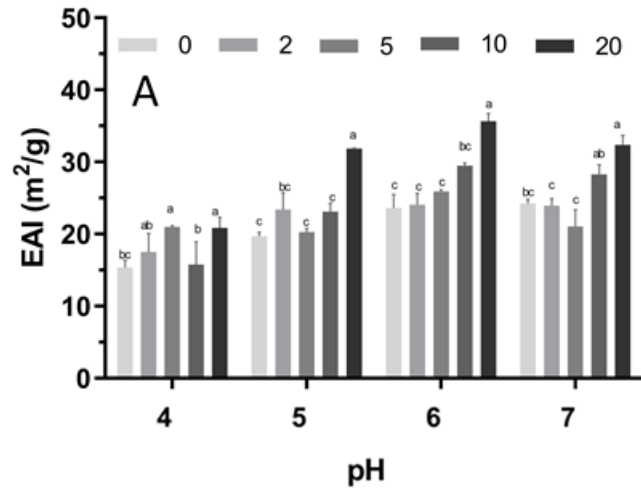
## Etapa evaluación de hidrolizados

1. La hidrólisis enzimática con alcalasa, mejoró la actividad antihipertensiva in vitro de concentrados de granos de quínoa sin tratamiento, extrudidos y germinados.
2. La germinación influyó positivamente la actividad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina (anti-ACE).
3. Alcalasa incrementó la actividad antioxidante de los hidrolizados proteicos de quínoa.
4. Se observó buena capacidad antioxidante de hidrolizados con grados de hidrolisis de 2-5%. La germinación influyó positivamente esta actividad.
5. Se observó un efecto sinérgico entre la extrusión y el aumento del grado de hidrolisis para la producción de hidrolizados con capacidad quelante de hierro. Mayor actividad quelante a 10-20% grado de hidrolisis

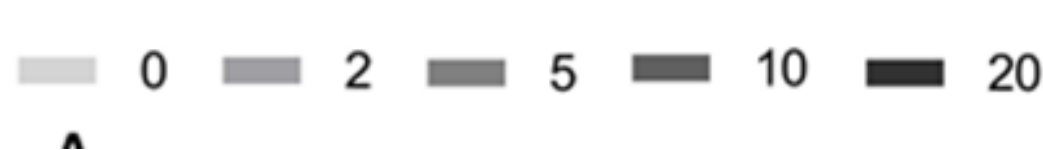
## Solubilidad de hidrolizados proteicos de quínoa



## Actividad emulsificante de hidrolizados proteicos de quínoa



Grados de hidrolisis (%)



1. Los hidrolizados tuvieron buena solubilidad y actividad emulsificante moderada en los rangos de pH evaluados.
2. El aumento del grado de hidrólisis se asoció positivamente con el aumento de la solubilidad de los hidrolizados proteicos. Particularmente a pH acidos. ficante
3. La germinación de los granos de quínoa incrementó la solubilidad de los concentrados e hidrolizados. La germinación y el aumento del grado de hidrolisis influyeron positivamente en la capacidad emulsificante.

## Conclusiones generales sobre valorización de proteína de quinoa

- El contenido de proteína de las variedades de quinoa cultivadas en la provincia de Jujuy es alto y por lo tanto constituyen un recurso útil para el desarrollo de alimentos, productos o ingredientes ricos en proteínas.
- Es factible procesar los granos enteros de quinoa mediante tecnologías accesibles y de bajo costo para la obtención de concentrados proteicos con contenido adecuado de proteínas (50-67%)
- La hidrólisis enzimática mejoró la actividad antihipertensiva y antioxidante *in vitro* de hidrolizados de proteína de quinoa. La extrusión y la germinación de los granos mejoró estas actividades.
- La hidrólisis enzimática mejoró la solubilidad y actividad emulsificante de la proteína de quinoa. El incremento de la solubilidad se asoció positivamente al aumento del grado de hidrólisis y de pH. La germinación mejoró esta propiedad.