

**REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DEL ÁCIDO FÍTICO EN LA ELABORACIÓN DE
“CRISPS” DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.)**

Por:

Melinna Reyes Rodríguez

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

en

CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
ENERO, 2018

Aprobado por:

Fernando Pérez Muñoz, Ph. D
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Rosa N. Chávez-Jáuregui Ph. D
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Aixa Rivera Serrano, MS
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Fernando Pérez Muñoz, Ph. D
Coordinador Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Fecha

Mercedes Ferrer, MS
Representante Estudios Graduados

Fecha

ABSTRACT

Crisps type baked products were made from a chickpea and wheat flour base. In the formulations, wheat flour was replaced with 10%, 20% and 30% chickpea flour and compared with a control (0% chickpea flour). The chemical aspect of crisps was evaluated by Aw, pH, water content, and the physical properties of texture, lightness, hue, and chroma.

No significant differences ($p \leq 0.05$) were found in baked products compared to control in the analysis of texture, lightness, and color intensity, during the observation time. Significant differences ($p \leq 0.05$) found in Aw of all formulations, including control, over time. Significant differences were also observed between formulations containing chickpea flour compared to control, in all analyzes performed. Baked products with the greatest similitude to the control were those of the formulation 90:10.

In this research, the reducing effect of 3 treatments (fermentation, alkaline soaking, and sprouting) on the phytic acid content in the chickpea was studied. Treatment were applied, respectively, to three groups of kabuli chickpeas for 48 hours. Phytic acid was analyzed by Haug and Lantzsch's method to the independently treated chickpeas. Final phytic acid content of treatments were 0.15 % db for fermentation, 0.72 % db in germination and 0.52 % db in the alkaline soak. It was observed that processes associated to the fermentation and alkaline soaking treatments had a greater reducing effect (83 % and 46 %, respectively) than the fermentation and alkaline soaking steps per se. After 48 hours of fermentation or alkaline soaking there was no significant change in phytic acid content of treated chickpeas. Sprouting showed no reducing effect on phytic acid content. In the elaboration of a new "crisp", with sprouted chickpea flour, 0.01 % of phytic acid was found. These treatments are recommended prior to the cooking of the chickpea for the reduction of phytic acid, in the food industry or in the home preparation.

RESUMEN

Se elaboraron productos horneados tipo "crisp" basados en harina de garbanzos y trigo. En las formulaciones, la harina de trigo se reemplazó con harina de garbanzo en un 10%, 20% y 30% y se comparó con un control (0% harina de garbanzo). Se evaluó el aspecto químico del "crisp" mediante el A_w , pH y contenido de humedad, y las propiedades físicas de textura, luminosidad, tono, e intensidad del color.

No se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los productos horneados en respecto al control en el análisis de textura, luminosidad, e intensidad de color, durante el tiempo de observación. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la actividad de agua de todos los productos de formulación, incluyendo al control, a lo largo del tiempo de observación. También se observaron diferencias significativas entre las formulaciones que contenían harina de garbanzo en comparación con el control, en todos los análisis realizados. Los productos horneados con mayor similitud con el control fueron los de la formulación 90:10.

En esta investigación se estudió el efecto reductor de tres (3) tratamientos (fermentación, remojo alcalino, y germinación) sobre el contenido de ácido fítico del garbanzo. Se aplicaron los tratamientos, respectivamente, a tres grupos de garbanzos kabuli por 48 horas. El ácido fítico se analizó por el método de Haug y Lantzsch, a los garbanzos tratados independientemente. El contenido final en ácido fítico para cada tratamiento fue 0.15 % bs para fermentación, 0.72 % bs en germinación y 0.52 % bs en el remojo alcalino. Se observó que los procesos asociados a los tratamientos de fermentación y remojo alcalino tuvieron un efecto reductor mayor (83 % y 46 %, respectivamente) que los pasos de fermentación y al remojo alcalino per se. Luego de 48 horas de fermentación o remojo alcalino no hubo cambio significativo en el contenido de ácido fítico de los

garbanzos tratados. El tratamiento de germinación no mostró efecto reductor en el contenido de ácido fítico. En la elaboración de un nuevo “crisp”, con harina de garbanzo germinado, se encontró 0.01 % de ácido fítico.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS ©

Melinna Reyes Rodríguez

2018

Dedicatoria

A Angelina e Ian Phillip, por hacerme tan feliz.

Al Campamento Contra las Cenizas en Peñuelas, que me humanizaron y me enseñaron que en la lucha por el ambiente hay que darlo todo.

Agradecimientos

A mi madre Rosa y mis hermanas Yina, Isadora y Violeta, que en la distancia siempre me dedicaron tiempo, confiaron en mi potencial y me hicieron feliz. A mis sobrinos que tan solo su existencia me hace tan feliz y me motivaron a culminar este proyecto para reunirme finalmente con ellos. A mi familia, Coralys, Milagros, Santia, y Sandra, gracias por tanto amor y comprensión. A mis amigas del alma Cindy, Karen y Paola, por acompañarme todos estos años, ser mis confidentes y estar pendientes al trayecto de este proyecto. Gracias

A mis queridos Mariana, Morella, Karenina, Juan Escobar y Luis Lugo, porque fueron muchas noches de estudios, experiencias, alegrías y tristezas, risas y felicidad. Fueron mi segunda familia en Mayagüez.

A la Dra. Daneida Pérez por acompañarme en cada momento. Por brindarme las herramientas y las palabras correctas para mantener el equilibrio en cada etapa. Por enseñarme a sobrellevar los momentos de incertidumbre, a encontrar y mantener mi paz interior. Sin usted, nada de esto hubiese sido posible.

A Diana, Brandon y Marcela, que llegaron en el mejor momento desde Colombia, para acompañarme durante los días largos de trabajo en el laboratorio. Gracias por su amistad, por sus palabras de aliento y sus enseñanzas.

A mis compañeros y colegas de clase: Eliú, Leidy, Melina Pérez, Kathina, Alexandra, Luis Alexis y María por su amistad, conocimiento, y por esos momentos de apoyo y motivación colectiva.

A Ardwin, por estar ahí todos estos años.

Al Dr. Fernando Pérez Muñoz por haberme guiado desde el principio, y haberme enseñado tanto.

A la Dra. Marisela Granito, por su colaboración y conocimiento.

A los Profesores del Programa, que siempre tuvieron las puertas abiertas para que este proyecto se pudiera completar. A la Dra. Mildred Chaparro, por todo su apoyo, por sus palabras de sabiduría y todo el conocimiento compartido en el área de alimentos. A la Dra. Rosa Chávez por su paciencia, consejos, y todo su conocimiento. Al Dr. J. Huertas, por todo su conocimiento y por haberme permitido trabajar y adquirir experiencia con equipos sofisticados, gracias por confiar en mí. A la Dra. María del Carmen Librán por la confianza, conocimiento y estación de trabajo. A la Profesora Aixa Rivera, gracias por las gestiones realizadas y por sus palabras. A la Dra. M. Plaza por su conocimiento, y por facilitarme el equipo de laboratorio. A la Dra. Leyda Ponce de León por su disposición y confianza.

A las doctoras Verónica Sánchez e Ivelisse Padilla, por haberme brindado la confianza y la experiencia de trabajar en el Departamento de Química.

A Goya PR, por haberme facilitado la materia prima.

A Leanora, Militza y Lilliam, muchísimas gracias por todas sus atenciones, favores y gestiones.

A Luis Ayala y Jaime por su disposición, su ayuda con los equipos, confianza y buenos deseos.

A mis compañeros en Saybolt LP, Puerto Rico, por su comprensión e interés en que este proyecto se realizara.

“[...] es por consideración a las personas mayores. A los mayores les gustan las cifras.” A. S. E.

“Gracias a la Vida, que me ha dado tanto”

Tabla de contenido

Tema	Página
Abstract	Ii
Resumen	iii
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Tabla de contenido	ix
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiv
Índice de apéndices	xv
Introducción	1
I. Revisión literaria	6
A. Garbanzo	6
B. Factores anti-nutricionales	9
1. Ácido fítico	10
2. Actividad enzimática	13
3. Procesamiento	14
a. Fermentación	15
b. Germinación	16
c. Remojo	18
C. Merienda	19
D. Aporte nutricional	22
II. Materiales y métodos	27

A. Materia prima	28
B. Reactivos	28
C. Tratamiento a la semilla de garbanzo	28
1. Diseño experimental	28
2. Preparación de muestras	29
a. Fermentación natural de la harina	30
b. Germinación	31
c. Remojo	33
D. Análisis de ácido fólico	33
1. Análisis estadístico	35
E. Elaboración del “crisp” con garbanzo no tratado	35
1. Formulación de harina	35
2. Procesamiento de la masa	36
3. Horneado	37
4. Empaque	38
5. Análisis químico-físicos	39
a. Humedad	39
b. Actividad de agua	40
c. pH	40
d. Textura	40
e. Color	41
F. Elaboración de producto con garbanzo tratado	41
G. Análisis sensorial	42

III. Resultados y Discusión	43
A. Análisis de ácido fítico	43
1. Curva de Calibracion	43
2. Ácido Fítico	44
a. Fermentación	45
b. Germinación	47
c. Remojo alcalino	48
3. Valor inicial de ácido fítico	51
a. Procesamiento	51
b. Discusión	52
i. Crudo	52
ii. Fermentación	53
iii. Germinación	55
iv. Remojo alcalino	55
B. Análisis de ácido fítico en productos horneado	56
C. Análisis químicos y físicos de los “crisps”	57
1. Efecto de sustitución de harina de garbanzo	58
2. Largo de vida útil	63
a. Humedad	63
b. Actividad de agua	65
c. pH	66
d. Textura	66
e. Color	67

i.	Luminosidad	67
ii.	Ángulo Hue (Tonalidad)	68
iii.	Cromaticidad	69
D.	Análisis sensorial	70
	Conclusiones	71
	Recomendaciones	72
	Bibliografía	73
	Apéndices	81

Índice de Tablas

1. Energía y contenido de macronutrientes y fibra en garbanzos	25
2. Contenido de vitaminas y minerales en garbanzos	26
3. Parámetros de tiempo y temperatura en tratamientos	29
4. Formulaciones para elaboración del “crisp”	36
5. Ingredientes para elaboración del “crisp”	37
6. Análisis de ácido fítico	44
7. Contenido ácido fítico en tiempo 0 horas	52
8. Contenido de ácido fítico en productos horneados	57
9. Efecto del contenido de harina de garbanzo en “Crisps”	59
10. Efecto del contenido de harina de garbanzo en color	60
11. Análisis de humedad	64
12. Análisis de actividad de agua	65
13. Análisis de pH	66
14. Análisis de textura	67
15. Análisis de luminosidad	68
16. Análisis de tonalidad	69
17. Análisis de cromaticidad	69
18. Observaciones en formulaciones adicionales	83

Índice de figuras

1. (a) Planta y flor de garbanzo, (b) Semilla de garbanzo	7
2. (a) Estructura de myo-inositol, (b) Estructura de ácido fítico	11
3. Interacciones del ácido fítico con minerales	12
4. Etapas de investigación	27
5. Garbanzos secos tipo kabuli	28
6. Fermentación natural en harina de garbanzo	31
7. (a) Cámaras de germinación (b) Proceso de germinación	32
8. Remojo alcalino al 0.75 %	33
9. Muestras para análisis de ácido fítico	35
10. Diagrama de flujo elaboración de “crisps”	37
11. Productos horneados: “crisps” de la formulación 70:30	38
12. Empaque bolsa polietileno	38
13. Curva de calibración de fitato de sodio	43
14. Comportamiento de ácido fítico en los tratamientos	50
15. Diagrama cono de luminosidad, tonalidad y saturación	61
16. Ubicación tonalidad de los “crisps”	61
17. (a) Muestras de fermentación (b) Garbanzos remojados en solución alcalina (c) Geminados de garbanzos a 48 horas	81
18. Secado de garbanzos tras remojo y germinación	82
19. (a, b) Preparación del panel sensorial (c) Panelistas en evaluación	99

Índice de Apéndices

1. Tratamientos para determinar el ácido fítico	81
2. Formulaciones adicionales	83
3. Análisis de varianza de a^* y b^*	84
4. Análisis varianza para porcentajes de reducción del ácido fítico	85
5. Análisis de varianza de ácido fítico para productos horneados	86
6. Supuestos de normalidad	87
7. Hoja de panelista utilizada para análisis sensorial	97
8. Análisis sensorial	98
9. Fotografías panel sensorial	99

Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es la tercera leguminosa más importante del mundo basado en la producción total (Yust et al., 2003). De acuerdo a las estadísticas de la Food and Agriculture Organization (FAO por sus siglas en inglés), la mayor producción del garbanzo entre los años 2010-2013 fue en la India con un promedio de 8,058,125 toneladas. En el mismo periodo Australia tuvo una producción de 650,502 toneladas y Pakistán 523,257 toneladas. El 84.1 % de la producción de garbanzos ocurre en Asia, mientras que en Europa y América es de 1.1 % y 4.0 %, respectivamente (FAOSTAT 2016). La producción del garbanzo para el 2016 fue de 7,818,984 toneladas en India, mientras que en Australia fue de 874, 593 toneladas y en Myanmar de 559, 390 toneladas.

Hay dos variedades principales de importancia comercial: el kabuli y el desi. La semilla del garbanzo kabuli es más grande que la del garbanzo desi. La semilla del kabuli tiene la cáscara fina, de color claro, y normalmente se cultiva en regiones templadas del mundo (Agriculture & Agri-Food Canada, 2008). El garbanzo tipo kabuli es principalmente cultivado en la Cuenca del Mediterráneo, en el Oriente Medio y en las Américas. Las semillas enteras son consumidas luego de ser remojadas y hervidas (Gil et al., 1996). El garbanzo es una fuente rica en ácidos grasos insaturados, (particularmente en ácidos grasos poli-insaturados), fibra dietética, vitaminas, minerales y fito- estrógenos (Pittaway, 2008). Aunque contienen factores anti-nutricionales como lectinas, inhibidores de proteasas, taninos y ácido fítico; sus propiedades altamente nutritivas se han asociado con muchos beneficios para la salud y en el manejo del colesterol alto LDL, diabetes tipo 2 y en la prevención de algunos tipos de cáncer (Roy, 2010).

Los garbanzos, al igual que otras legumbres, son normalmente consumidas luego de ser procesadas. Esto no tan solo aumenta la palatabilidad de los alimentos, sino que aumenta la bio-disponibilidad de nutrientes porque inactiva los inhibidores de tripsina y hemaglutininas (Lazou et al., 2007).

Los factores anti-nutricionales en las legumbres, en general, son compuestos que afectan la absorción de nutrientes y minerales o que disminuyen la digestibilidad de las proteínas. Existen compuestos anti-nutricionales proteicos (lectinas, inhibidores de proteasa, de tripsina y quimotripsina) y no proteicos (ácido fítico, compuestos fenólicos, taninos y saponinas, y oligosacáridos como rafinosa y estaquiosa) (Roy et al., 2010).

El ácido fítico se encuentra en altas concentraciones en las legumbres, como un factor anti nutricional. El mismo quela los minerales como zinc, calcio, hierro y magnesio; lo que disminuye su bio-disponibilidad (Rebello et al., 2014).

El procesamiento puede influir en la reducción de estos factores anti-nutricionales. La fermentación del garbanzo en particular disminuye los fitatos, inhibidores de tripsina y taninos; elevando la digestibilidad proteica (Granito et al., 2003). También incrementa la funcionalidad de las harinas para el uso y elaboración de pastas, productos horneados y bebidas lácteas fermentadas (Granito et al., 2010). Otras investigaciones sugieren que la germinación de los garbanzos es efectiva en la reducción de ácido fítico y factores de flatulencia causado por los oligosacáridos estaquiosa y rafinosa; aumentando así la digestibilidad de las proteínas y mejorando las propiedades sensoriales (Khattak et al., 2007; Lintschinger et al., 1997).

Según la literatura, las particularidades nutritivas de las legumbres, en este caso el garbanzo, pueden ser traídas de manera sugestiva a la dieta de las personas que buscan consumir más fibra y

proteínas. La industria de alimentos ha estado manufacturando productos, con atributos nutricionales aceptables por medio de varios procesos (Arêas, 1992; Candido y Campos, 1995), simples y de bajo costo como la extrusión (Cardoso & Arêas 2001). Hernández & Sotelo (1984) exponen que la utilización de una proporción de 3:2 de harina de trigo: harina de garbanzo en la elaboración de galletas, resulta en una mayor Razón de Eficiencia Proteica (PER, por sus siglas en inglés), que el producto a base de harina de trigo solamente.

Se entiende por “snack” aquel producto de fácil consumo, accesible, de tamaño pequeño, sólido o líquido, que requiere poca o ninguna preparación y su finalidad es satisfacer la sensación de hambre que se produce entre comidas (Tettweiler, 1991). Los “snacks” o meriendas se han convertido en parte importante de la dieta de muchas personas, particularmente de niños, y puede ser de influencia en la dieta general (Shukla, 1994). Debido al auge que han tomado los productos naturales en los últimos tiempos, la producción de “snacks” se orienta a la búsqueda de productos más nutritivos, con buen aporte de proteínas, calorías, fibra, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales (Hurtado et al., 2001), además de un bajo contenido de grasas saturadas, azúcares refinadas y sodio.

El garbanzo es alto en proteínas, bajo en grasa y sodio, excelente fuente de ambos tipos de fibra (soluble e insoluble), carbohidratos complejos, vitaminas, ácido fólico y minerales; específicamente calcio, fósforo, hierro y magnesio (Agriculture & Agri - Food Canada, 2006; Nwokolo & Smartt, 1996). La fibra dietética insoluble presente en los garbanzos se ha asociado con la reducción en la incidencia de cáncer del colon y se ha demostrado que la fibra soluble tiene beneficios en el control y pérdida de peso (Agriculture & Agri- Food Canada 2006). Al utilizar el garbanzo (*Cicer arietinum L.*), una leguminosa de la familia *Fabaceae*, en el desarrollo de un

producto nuevo, se parte de materia prima, considerada como buena fuente de proteínas gracias a su composición de amino ácidos y su biodisponibilidad proteica (Yust et al., 2003).

El garbanzo es relativamente económico y se ha asociado con la prevención de enfermedades cardiovasculares, el manejo de diabetes tipo 2 y la disminución de los niveles de colesterol LDL (Roy, 2010). Alimentos que demuestran una baja velocidad en la digestión de almidones son considerados beneficiosos para la dieta humana, porque provocan un bajo nivel de glucosa en la sangre después de las comidas, es decir que, tienen un índice glicémico (IG) bajo (Hawkins & Johnson, 2005). En la literatura se evidencia que alimentos con un bajo IG pueden ser piezas clave en una dieta saludable (Willett et al., 2002) y para pacientes de diabetes tipo 2, (Rizkalla et al., 2002) que no dependen de la insulina ya que su sensibilidad en el páncreas es menor.

Las legumbres se identificaron como alimentos de bajo índice glicémico hace más de 20 años atrás (Jenkins et al., 1981, Jenkins 1983; Thorne et al., 1983). Los niveles de glicemia sostenida luego de ingerir alimentos de bajo índice glicémico pueden dar origen a los efectos positivos en la saciedad, estado de ánimo, rendimiento cognitivo y de vigilancia, reportado en pacientes diabéticos y personas saludables (Holt et al., 1992). Hay una creciente evidencia de que alimentos con bajo índice glicémico pueden desempeñar un papel importante en una “dieta saludable” (Willett et al., 2002) y que tienen potencial en el control de enfermedades crónicas como la diabetes no dependiente de insulina (Rizkalla et al., 2002) y enfermedades del corazón (Leeds, 2002).

En vista de que el garbanzo contribuye beneficiosamente a la salud y a personas con sobrepeso y diabetes, es necesario proponerlo como base de nuevas elecciones de meriendas nutritivas. Esta investigación pretende determinar una formulación basada en la harina de garbanzo y la harina de trigo, para la elaboración de “crisps”. Se propone evaluar por métodos sensoriales y análisis

instrumentales, las características de los diferentes productos horneados, en cuyas formulaciones la harina de trigo fuese parcialmente sustituida por la harina de garbanzo.

El objetivo principal de esta investigación es determinar el efecto del procesamiento (fermentación, germinación y remojo del garbanzo) en la concentración del ácido fítico, para la elaboración de un producto a base de harina de garbanzo y harina de trigo.

Los objetivos específicos son:

1. Evaluar el efecto del procesamiento (fermentación, germinación o remojo) en la reducción del contenido de ácido fítico en el garbanzo.
2. Evaluar el efecto de la sustitución de la harina de trigo por harina de garbanzo en el largo de vida útil y las características del producto horneado (humedad, actividad de agua, pH, textura, color y concentración de ácido fítico).
3. Analizar mediante un panel sensorial la preferencia entre productos horneados a base de harina de trigo, harina de garbanzo sin tratar y harina de garbanzo tratado.

I. Revisión Literaria

A. Garbanzo

El garbanzo ha sido cultivado en Asia e India por milenios y fue disperso por los griegos, romanos y fenicios por el Mediterráneo y África. Hubo una gran producción en 1985-1987 en Australia que llegó hasta 71,000 hectáreas. En la década pasada, India fue el mayor productor de garbanzos, con una producción que registró un promedio de 6,935,511 toneladas (FAOSTAT 2016).

La mayor parte de la semilla es el embrión, constituido por dos cotiledones, el hipocótilo, y la radícula (raíz). El embrión está protegido por la testa o tegumento (cáscara) (Wood, Knights & Choct, 2011).

Los garbanzos se dividen en dos tipos: el kabuli y el desi. El kabuli tiene una flor blanca, (Figura 1a.) no tiene antocianinas y la semilla es más grande con una cáscara fina y ligera. El desi es de flor violeta, contiene antocianinas, y de semilla pequeña con cáscara gruesa. La planta puede crecer como un arbustillo o en forma de enredadera entre 10 cm y 3 metros. En la línea de cultivo se recomiendan 30 cm de distancia entre cada planta, buen riego en lugares altos y 100 kg/ha de fosfato diamónico como suplemento de crecimiento. Esta leguminosa es de temporada fría, aunque crece en climas tropicales. La misma se ve afectada por alrededor de 50 patógenos, pero solamente se puede arruinar con *Ascochyta blight*, *Fusarium wilt*, dry root rot, collar rot, stunt, black root rot y *Botrytis gray mold* (Van Rheenen, 1991).



Figura1 (a). Planta, flor y (b). semilla de garbanzo tipo kabuli, sembrada en Puerto Rico.

El garbanzo, también conocido como Bengal gram es la leguminosa más importante y de mayor producción en India. La industria de alimentos clasifica como procesamiento primario el moler y separar la semilla del garbanzo en sus cotiledones, sin influenciar la composición de los nutrientes. El hornear, freír, hervir o cocinar al vapor los cotiledones del garbanzo se consideran procesamiento secundario. El uso de la harina de garbanzo en combinación con agua para producir una masa puede promover una variedad de productos de diversas texturas. En mezclas bien proporcionadas, la harina de garbanzo puede utilizarse para desarrollar productos como galletas, meriendas, “biscuits” y “flat breads”. Estos productos son convenientes y rápidos (Geervani, 1991).

En Turquía, las legumbres en general son la segunda fuente de proteína dietaria, calorías y nutrientes más consumida y sembrada. Turquía es el cuarto país con mayor producción de garbanzos (510,528 toneladas) luego de la India, Australia y Pakistán. Ese país, realizó un estudio

con 91 variedades locales de garbanzo para identificar las características nutricionales y bioquímicas. La investigación refleja que las características químicas y físicas de los garbanzos son totalmente dependientes de la localidad y que existe diferencia en las características nutricionales y el tiempo y otros parámetros de cocción. El análisis proximal, en base seca, de las 91 variedades estudiadas revelan una diferencia significativa en el contenido de proteínas 17.55-23.31 %, un rango de variabilidad en grasa de 4.45-6.11 %, en cenizas 2.54-3.41 %, 41.76-49.07% en carbohidratos, 2.03-4.18 % de fibra y 6.39-10.57 % de humedad. El tiempo de cocción promedio fue 53 minutos, mientras que algunas variedades se cocinaron a un tiempo de 33 minutos, otros tardaron 72 minutos (Özer et al., 2010).

Otro estudio demostró que la cocción del garbanzo tiene como beneficios el incremento en la digestión de sus proteínas, aumento en la cantidad de fibra y retención de sus 18 amino ácidos (glicina, alanina, prolina, valina, metionina, isoleucina, leucina, tirosina, fenilalanina, triptófano, treonina, arginina, lisina, histidina, ácido glutámico, ácido aspártico, serina y cisteína). Además, la cocción redujo los niveles de grasa, factores anti-nutricionales (taninas, saponinas, ácido fítico, inhibidores de tripsina, hemaglutininas), azúcares reductores y factores de flatulencia (verbacosa, sacarosa, rafinosa, estaquiosa). Aún con los tratamientos de cocción, hubo retención de las vitaminas del complejo B (riboflavina, niacina, piridoxina y tiamina), al igual que nueve macro y micro elementos (Na, K, Ca, Mg, P, Mn, Zn, Cu, Fe) (Alajaji & El-Adawy, 2006).

Las legumbres son ricas en proteínas, calorías, vitaminas y minerales. Cultural y económicamente son las más consumidas en África y Asia. En el 2006, Iqbal y colaboradores presentaron el problema del síndrome de mal nutrición y el déficit mundial de la ingesta de proteínas en preescolares. Los autores analizaron las características nutricionales (el contenido de proteínas, aminoácidos y minerales) de 4 legumbres con el propósito de señalar y realzar el significado

nutricional de las mismas. El estudio de la composición nutricional de las cuatro legumbres (“cowpeas”, guisantes, lentejas y garbanzos), reflejó exceso de los aminoácidos esenciales, excepto triptófano, cisteína, cistina y metionina. El resultado del análisis proximal del garbanzo mostró 7.3 g/100 g de humedad, 24.0 g/100 g de proteína cruda, 5.2 g/100 g de grasas y 3.6 g/100g de cenizas. En comparación con las demás legumbres, en el garbanzo se encontró gran contenido de cobre 11.6 mg/100 g, calcio 197 mg/100 g y zinc 6.8 mg/100 g. Mientras que el perfil aminoacídico presentaba una razón de 1:1 de aminoácidos esenciales a no esenciales. Los autores concluyen que estas legumbres, incluyendo el garbanzo, pueden mejorar el estado nutricional cuando se combinan en dietas basadas en cereales.

B. Factores anti-nutricionales

Las legumbres contienen sustancias bio-activas no nutritivas que tienen efectos adversos en el metabolismo de los humanos, y que se clasifican como factores anti-nutricionales (Champ, 2002). Estos incluyen los inhibidores de proteasa, hemaglutininas e inhibidores de crecimiento, y son eliminados parcial o completamente con el procesamiento y tratamientos térmicos (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

Estudios probaron que la cocción del garbanzo mediante autoclave, microondas o hervidos, aumentan significativamente la digestibilidad de las proteínas, si se compara con la semilla cruda. Factores que promueven la digestibilidad de proteínas y que se afectan con el calor incluyen la desnaturalización de proteínas, y la reducción de inhibidores de tripsina, ácido fítico y taninos (Alajaji & El-Adawy., 2006).

Entre los factores anti-nutricionales que se encuentran en el garbanzo Alajaji & El-Adawy (2006), reportan que la leguminosa cruda contiene 11.90 TIU/ mg de proteína (inhibidor de tripsina), 6.22

HU/ mg muestra (actividad de hemaglutininas), 4.85 mg/ g muestra de tanino, 1.21 mg/ g muestra de ácido fítico.

1. Ácido fítico

La estructura del ácido fítico o myo inositol hexakisfosfato, contiene seis (6) grupos fosfato y 12 protones reemplazables. Esto lo caracteriza como un compuesto altamente reactivo con cationes divalentes o con proteínas con cargas positivas, que produce compuestos insolubles. A pH neutral, los grupos fosfatos, con carga negativa, interaccionan con proteínas mediante cargas electrostáticas. También puede enlazarse con minerales de carga positiva y con almidones mediante puentes de hidrógeno. El enlace del ácido fítico con estos compuestos (proteínas, minerales y almidones), obstruye la solubilidad, funcionalidad, digestión, y absorción de los mismos (Oatway et al., 2001).

El ácido fítico (myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis-dihidrógeno fosfato o IP₆) (Figura 2. b) es la forma de almacenamiento principal de fósforo total en las plantas (60-90 %). Está presente como cristales globulares en los cuerpos proteicos en lugares discretos de la semilla. La mayor concentración de ácido fítico se encuentra en los cotiledones de la semilla. El contenido en las legumbres en general es menor de 2.0 % (Graf, 1986), y en el garbanzo fluctúa entre 0.4-1.1 % en base seca (Savage & Deo, 1989; Quinteros et al., 1999).

El ácido fítico se encuentra en los cotiledones de las leguminosas. Éste se sintetiza durante el desarrollo de la semilla y se deposita en estructuras llamadas globoides (Thompson, 1993), en forma de sales de magnesio y de potasio (Lott & Ockenden, 1986). Estas estructuras se localizan en el interior de los corpúsculos de las proteínas en las células del cotiledón (Reddy et al., 1982).

El ácido fítico se considera un factor anti-nutricional para la dieta de los seres humanos, debido a que interviene en la absorción de minerales y la digestibilidad de proteínas debido a que forma compuestos insolubles con cationes divalentes. La interacción del ácido fítico con minerales como el calcio, zinc, hierro y magnesio, proteínas, y almidones forma complejos insolubles a pH intestinal (Frías et al., 2003). Estas reacciones tienen un efecto en la biodisponibilidad de minerales y la digestión de proteínas y almidones, reduciendo las mismas. La remoción de los factores anti-nutricionales, como lo es el ácido fítico en los garbanzos, es crucial para mejorar la calidad nutricional y maximizar su uso en la industria de alimentos.

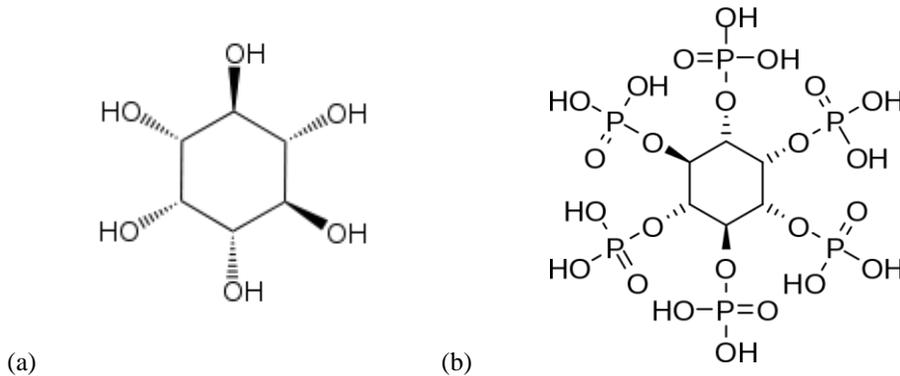


Figura 2. (a) Estructura molecular de myo-inositol, (b) del ácido fítico (myo-inositol hexakis-dihidrógeno fosfato)

Su gran habilidad de quelar minerales como el zinc, calcio, hierro y magnesio produce complejos insolubles, no digeribles y difíciles de absorber; disminuyendo su bio-disponibilidad (Figura 3). En el procesamiento y digestión, los fitatos pueden ser desfosforilados a IP₅, IP₄, IP₃, IP₂, IP₁, (Champ, 2002). La enzima fitasa se encarga de la degradación del ácido fítico mientras que hidroliza el grupo fosfato, rompiendo el enlace fosfodiéster y liberando ácido fosfórico (Reddy et al., 1978).

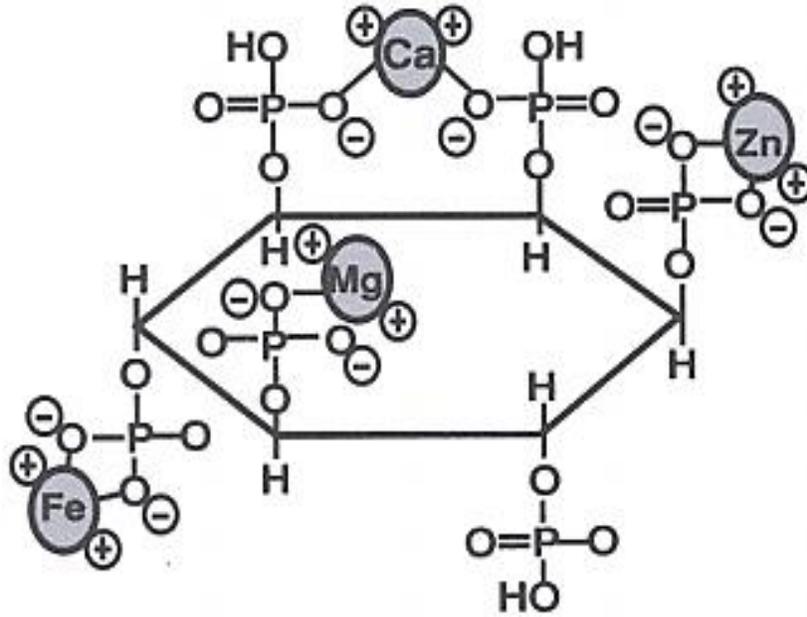


Figura 3. Interacciones del ácido fítico con minerales (cationes divalente).

Este compuesto anti-nutricional puede funcionar como antioxidante, previniendo la peroxidación de lípidos e incrementando la longevidad de las semillas, o como fuente de myo-inositol, importante precursor de los polisacáridos en la pared celular (Scott, 1991).

Paredes y colaboradores (1991), explican como el ácido fítico y cationes divalentes previenen el entrecruzamiento con pectina facilitando la disolución de la pared celular disminuyendo el endurecimiento o el defecto de difícil cocción o “hard to cook defect”. Cuando la enzima fitasa desfosforila el ácido fítico, disminuye la quelación, y permite el entrecruzamiento entre las pectinas en la lámina media de la pared celular de las semillas. Las pectinas combinadas con calcio o magnesio (pectatos de calcio y magnesio) no se disuelven en el calor, por lo que se restringe la separación celular aumentando el endurecimiento de las semillas.

El ácido fítico ha demostrado que reduce el daño oxidativo mediante la supresión de reacciones oxidativas catalizadas con hierro. También puede reducir el daño oxidativo en el epitelio intestinal

asociado a los radicales de oxígeno producidos por las bacterias del colon (Rebello et al., 2014).

La habilidad del ácido fítico en quelar minerales puede tener efectos positivos como la disminución en el riesgo de cáncer de colon mediado por hierro, y reducción del colesterol y los triglicéridos (Champ, 2002).

2. Actividad enzimática

Existen diferentes métodos de procesamiento para reducir o eliminar el ácido fítico de las leguminosas. Entre estos se encuentran el remojo en agua destilada o soluciones ácida o alcalinas, el horneado, la fermentación o la germinación. Cabrejas y colaboradores, (2009) refieren que el remojo promueve la activación de la fitasa endógena y la difusión de productos. Además, explican que existe una correlación entre la disminución de ácido fítico y la actividad enzimática, de la fitasa, durante la germinación.

En estos procedimientos la actividad enzimática es la responsable de llevar a cabo la hidrólisis del ácido fítico y a su vez la reducción de éste. Esta actividad enzimática ocurre por parte de la enzima endógena de la leguminosa. Durante la germinación, se activa la fitasa endógena, que es la que hidroliza el ácido fítico (IP6). Cuando se activa esta enzima, se cataliza la hidrólisis del ácido fítico (IP6), lo cual lleva a su degradación de IP6 a IP5, IP4, IP3 (Frías et al., 2002). Sin embargo, varios autores indican que la disminución del ácido fítico durante la hidrólisis depende de la leguminosa y de las condiciones de germinación (Sangronis & Machado 2005). La hidrólisis consiste en el rompimiento del enlace fosfodiéster, reduciendo el número de grupos fosfato a compuestos menos reactivos.

3. Procesamiento

Tharanathan & Mahadevamma (2003), explican que el procesamiento de las legumbres aumenta la digestibilidad, aroma, cualidades sensoriales, atributos nutricionales y bio-disponibilidad de nutrientes debido a que inactiva las enzimas anti-nutricionales como las hemaglutininas, inhibidores de proteasa e inhibidores de crecimiento. Los tratamientos térmicos como el asado, tostado, y freído, son algunos métodos que se aplican a las semillas enteras de las legumbres para consumirlas como “snacks”. Cuando se le aplican tratamientos como el remojo, germinación, horneado y fermentación al garbanzo, éstos se clasifican como procesamientos secundarios (Chitra et al., 1996).

Para mejorar el valor nutritivo y digestibilidad de las proteínas de las legumbres se pueden aplicar métodos de remojo, descascarado, germinación, fermentación, cocción e irradiación (Farnworth, 2003).

Investigaciones (Vidal et al., 1994, Martínez et al., 1996) demuestran que procesos como el remojo en una solución de bicarbonato de sodio 0.07 %, (23 % reducción) y la cocción parcial (29 % reducción), cambian el contenido del ácido fítico en las lentejas. El factor de solubilidad puede afectar directamente este compuesto y eliminarse con la solución de remojo mientras que también se puede inactivar al ser expuesto a altas temperaturas. Los autores indican que durante la germinación se reduce notablemente el contenido de ácido fítico (66 % reducción) debido a la actividad enzimática. Explican que este compuesto es la reserva de fósforo que es generado por la enzima fitasa para el desarrollo de la planta de semillero.

Bishnoi & Khetarpaul (1994) encontraron que métodos comunes de procesamiento y cocción como el remojo, descascarado la leguminosa, cocción ordinaria, cocción bajo presión, y germinación mejoran la digestibilidad *in vitro* de las proteínas.

a. Fermentación

Una fermentación natural se aplicó a dos variedades de “cowpeas” (*Tuy* y *Orituco*). Las semillas enteras se fermentaron durante 48 horas a 42 °C, y agitación constante a 440 rpm, previo a cocerlos en agua a 100 °C por 120 minutos. Las semillas presentaron disminución en el contenido de fitatos (38 – 59 %) e inhibidores de tripsina (39 – 41 %), respectivamente. Los autores concluyen que la combinación de estos tratamientos fue efectiva para la reducción de factores anti-nutricionales (Granito et al., 2003), e incrementa la funcionalidad de harinas de las leguminosas (Granito et al., 2004).

Se utilizó el método de fermentación de *Phaseolus vulgaris*, *Cajanus cajan* y *Vigna sinensis*, para la elaboración de productos horneados dirigidos a escolares. Las harinas fermentadas de las leguminosas sustituyeron parcialmente la harina de trigo para la producción de ponqués, brownies y galletas. Los productos elaborados con las harinas fermentadas tuvieron mayor aceptación sensorial que los productos de harina sin fermentar. Además, los productos de harinas fermentadas tuvieron una mayor digestibilidad *in vitro* (87 %) en comparación a los productos de harinas de legumbres no fermentadas. Lo que sugiere que este procesamiento contribuye a la digestibilidad debido a la disminución de algunos factores anti-nutricionales presentes en las legumbres (Granito et al., 2010).

Otros experimentos coinciden en que la fermentación de las legumbres reduce el contenido de compuestos endógenos anti-nutricionales como el ácido fítico (Mahaja & Chauham, 1988; Kozłowska et al., 1996).

La fermentación de legumbres produce la disminución de factores anti-nutricionales, incrementa la vida útil y modifica las propiedades sensoriales (mejor aceptabilidad del público) dependiendo de las condiciones de la fermentación. Otros factores anti-nutricionales que se reducen con la fermentación son los inhibidores de proteasa, el derivado de ácido fítico IP6 y los taninos; lo que aumenta la digestibilidad (Granito et al., 2002; Torres et al., 2006).

b. Germinación

El proceso de germinación es una práctica antigua y popular alrededor del mundo y particularmente en Asia. Las legumbres germinadas son añadidas a las dietas para aumentar el contenido nutricional. La germinación implica la ruptura de las reservas de las semillas debido al aumento de la actividad enzimática (Vijayaraghavan, 1981).

Antes y durante la germinación de las semillas de garbanzo, los grupos fosfatos del ácido fítico pueden actuar como reserva energética regulando el fósforo inorgánico (Cosgrove, 1980).

Chitra y colaboradores, (1996) estudiaron el efecto de la germinación, fermentación, autoclaveado y asado en el ácido fítico, digestibilidad de proteínas, fibra dietética y minerales de los gandules, soya, garbanzos, chicharos y habichuelas negras. Previo a la germinación las legumbres fueron tratadas por 12 horas de remojo en agua destilada. Al finalizar este tiempo las leguminosas fueron germinadas en platos Petri con papel de filtro húmedo por 48 horas. El estudio reveló que la germinación fue el método que más redujo el ácido fítico en todas las leguminosas, pero

mayormente en el garbanzo y en el gandul con un 64.1 % y 65.8 % respectivamente comparado con los demás tratamientos.

Se ha reportado que la luminosidad afecta el rendimiento de la germinación, la biosíntesis del ácido ascórbico y el betacaroteno, y la solubilidad y digestibilidad de las proteínas del garbanzo (Khattak et al., 2008). Khattak y colaboradores (2007), estudiaron el impacto de la luminosidad en el contenido de ácido fítico durante el proceso de germinación de garbanzo desi. La germinación de las semillas se llevó a cabo en una cámara de germinación de madera, durante 96 horas, con lavados 2 veces al día para evitar el crecimiento microbiano y rociado con agua potable 3 (tres) veces por día para incrementar la germinación. Cada cámara de germinación fue expuesta a luz negra, roja, azul, de tungsteno, verde, fluorescente e irradiación gamma. La luz azul mostró mayor efectividad en disminuir el ácido fítico en un 60 % durante las primeras 48 y 72 horas de germinación. Solo 2 luces (verde e irradiación gamma) tuvieron un máximo de 40 % de reducción del anti-nutriente a las 48 horas, pasado este periodo el contenido de ácido fítico aumentó.

Shah et al., (2011) estudiaron el efecto de la germinación en las propiedades nutricionales y bioquímicas en dos variedades de chícharos (Ramzan y NM-98). La germinación de las semillas incluyó un proceso de remojo por 24 horas previo, a las 96 horas de tratamiento. Durante el proceso las semillas fueron rociadas con agua destilada 3 veces al día y lavadas a diario. La germinación reflejó un comportamiento similar en ambas variedades. Los resultados del tratamiento causaron aumento en el contenido de cenizas, proteínas, fibra, y ácido ascórbico, y disminución en el contenido de grasa y ácido fítico. Se puede inferir que la germinación es un tratamiento que abona al valor nutricional del chícharo.

c. Remojo

El remojo es un paso común utilizado previo a la preparación y cocción de las legumbres. El remojo ayuda a la remoción de la cáscara de la semilla, para disminuir el tiempo de cocción (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

Paredes y colaboradores (1991) investigaron el defecto de difícil cocción o “Hard To Cook defect” en dos variedades de habichuelas (Canario y Mayocoba) *Phaseolus vulgaris* previamente endurecidas. Las semillas fueron endurecidas a distintas condiciones de temperatura tiempo y humedad relativa, para luego ser remojadas en diferentes soluciones y determinar la calidad de la cocción. Los tratamientos de endurecimientos fueron: (1) remojo en solución amortiguadora de acetato con pH 4.1 por 5 horas a 37 °C; (2) almacenamiento a 37 °C, 100 % de Humedad Relativa (HR) por 28 días, y (3) almacenamiento a 32 °C y 76 % HR por 120 días. Las soluciones utilizadas para remojar las semillas fueron agua destilada, una solución de NaCl al 1.0 % y NaHCO₃ al 0.75 % en agua destilada, y una solución de NaHCO₃ al 0.75 % en agua destilada. Luego del tiempo de remojo (12 horas), la solución de NaHCO₃ al 0.75 % en agua destilada, demostró un cambio dramático en la textura y la disminución en el tiempo de cocción. La cocción de las semillas endurecidas Mayocoba remojadas en la solución de bicarbonato de sodio tardaron 51, 65, 146 minutos, respecto a los tratamientos de endurecimiento, en comparación a las semillas remojadas en la solución de sal y bicarbonato que tardaron 67, 87, 61 minutos, respectivamente. Por su parte las semillas endurecidas Canario, remojadas en la solución de bicarbonato se tardaron 67, 71 y 136 minutos, comparado 70, 74 y 63 minutos para la solución de sal y bicarbonato, respectivamente a los tratamientos de endurecimiento. Los investigadores concluyen que remojar las semillas en la solución de bicarbonato al 0.75 % requieren menor tiempo de cocción y es un tratamiento factible para legumbres que han sido expuestas a almacenamiento en altas temperaturas.

Vadivel & Pugalenti (2008), investigaron el efecto de métodos de procesamiento en habichuelas “velvet” blancas y negras que disminuyeran factores anti-nutricionales y aumentaran la digestibilidad proteica. Los tratamientos incluían el remojo en agua destilada, y el remojo en soluciones separadas de 0.2 % de NaHCO₃, 1 % de CaCl₂, 1 % NaCl por 4 horas a 32 °C en una proporción 1:10 w/v, y una serie de post tratamientos como descascarado, cocción, autoclave, asado y germinación. Los autores encontraron que, de todos los métodos utilizados, el remojo de las semillas en bicarbonato de sodio, seguido de la autoclave, redujo los niveles de fenoles, taninos, ácido fítico, y oligosacáridos en ambos tipos de habichuelas. Además, aumentó la digestibilidad *in vitro* de proteínas. Es posible que la disminución en los niveles de estos factores anti-nutricionales sea por la lixiviación, o sea, percolación de estos compuestos a la solución de remojo.

C. Merienda

El garbanzo es una leguminosa que, a través de su procesamiento, es posible obtener gran variedad de productos. El garbanzo puede molerse hasta harina, cocinarse en papillas finas o gruesas, o combinarse con harina de trigo para producir pan tipo “*chapatti*” o preparar dulces (Khattak et al., 2006). Cuando se añadió un 20 % de harina de garbanzos a la mezcla para la elaboración de pan de trigo, la razón proteica aumentó significativamente (Shehata & Fryer 1970). Desai y colaboradores (1970), afirmaron que la utilización de la harina de garbanzos para el desarrollo de productos es costo-efectiva y tiene un resultado positivo para el crecimiento de los preescolares.

Monteiro y colaboradores (2010), explican cómo los cambios en la alimentación y el consumo de alimentos procesados han afectado la salud del ser humano en las últimas 3 décadas en Brasil. Los autores estudiaron el efecto del consumo de los alimentos altamente procesados en poblaciones de alto y bajo ingreso. Los alimentos altamente procesados son formulados con un largo de vida útil

amplio, son accesibles, agradables al paladar, convenientes y listos para comer. El procesamiento incluye procesos tales como horneado, freído, curado, ahumado, enlatado, la adición de sal, azúcares, y preservativos y aditivos, además de vitaminas y minerales. Este grupo incluye panes, galletas, bizcochos, “crisps”, barras de cereal, y cereales endulzados, entre otros. La investigación demuestra un aumento en consumo de estos productos ultra procesados en el periodo de 2002-2003, en comparación con los años 1987-1988 y 1995-1996. En contraste, el consumo de los alimentos mínimamente procesados fue en decaimiento en los años 1995-1996 a 2002-2003 de 44.8 % a 39.6 %. El consumo de estos productos altamente procesados, en comparación con una comida preparada con alimentos no procesados e ingredientes procesados, proporciona 33 % más de azúcar, 25 % más de grasas saturadas y sodio, 66 % más de la ingesta calórica y 50 % menos de fibra dietaria; lo que excede los límites recomendados del azúcar, sodio, y calorías, mientras que resulta en una insuficiencia de fibra.

Granito et al., (2010), demostraron que es posible la elaboración de productos hechos con harinas de legumbres (*Phaseolus vulgaris*, *Cajanus cajan* y *Vigna sinensis*) con aceptación entre escolares. Los productos horneados fueron brownies, ponqués, y galletas. Los mismos fueron elaborados con harina de las legumbres fermentadas y no fermentadas, que sustituyeron entre 20 % y 30 % de la harina de trigo. Los autores analizaron sensorialmente los parámetros de preferencia, sabor y olor para todos los productos concluyendo que los brownies realizados con las legumbres fermentadas fueron los preferidos. Por el contrario, en las galletas y los ponqués, hubo mayor preferencia por los productos de origen no fermentado. En todos los productos se cuantificó un rango de proteínas de 10-12 %. La formulación 70:30 (harina de trigo: harina de leguminosa) es recomendada para lograr una complementación de aminoácidos adecuada (Bressani, 2002).

Un producto extruido a base de una mezcla de garbanzo, arroz y fenugreek fue elaborado por Shirani & Ganesharane (2009). Los autores desarrollaron un producto con Índice Glicémico (IG) bajo (menor de 55), con una mezcla 70:30 harina de garbanzo y harina de arroz, y 15 % de polisacárido del fenugreek. El último, tiene actividad antioxidante y disminuye el azúcar en la sangre, mientras que el garbanzo tiene una cantidad significativa de proteínas, fibra, carbohidratos resistentes, y es bajo en grasa. Los productos de 100 % harina de garbanzo, 70:30 garbanzo:arroz, (control), y 70:30 garbanzo:arroz con 15 % de polisacárido del fenugreek fueron expuestos a un análisis *in vitro* para determinar el índice glicémico con el método del Instituto Internacional de Diabetes en Melbourne, Australia. Los resultados a esta prueba fueron de 56 ± 1.15 , 68 ± 2.00 , y 43 ± 1.15 , respectivamente. El resultado del producto con el aditivo del fenugreek puede deberse al alto contenido de fibra en el polisacárido de éste y la liberación lenta de almidón del garbanzo. El producto de 100 % harina de garbanzo y el del agregado de fenugreek clasifican como productos de IG bajo. La combinación de garbanzo, arroz y fenugreek presenta el IG más bajo, por lo que es más recomendable para el consumo.

Cardoso & Arêas (2001) desarrollaron un producto extruido dirigido a infantes, sensorialmente aceptable y “Ready To Eat” (RTE) hecho de harina de garbanzo y pulmón de bovino. Analizaron la composición nutricional en los productos finales con las siguientes proporciones: (100:0), (95:5), (90:10) de harina de garbanzo:bovino. El análisis proximal en base seca de los productos extruidos reveló 19.8 ± 0.21 %, 23.0 ± 0.60 %, 26.6 ± 0.55 % de proteínas, respectivamente. Esto sugiere que un “snack” con estos ingredientes puede ser incorporado a esta población, como un producto de alta calidad en proteínas.

Han y colaboradores (2010) utilizaron harinas de ocho (8) legumbres, incluyendo el garbanzo, para desarrollar una galleta de soda sin gluten. El gluten es una red formada por las principales proteínas

del trigo e influye grandemente en la textura de los productos de panificación. La inclusión de otros ingredientes, como almidón pre-gelatinizado de arroz, almidón modificado, celulosas, surfactantes y goma Xanthan, fue utilizada para compensar la falta de gluten en el procesamiento de los productos en la investigación. Se tomó en consideración el tamaño de la partícula de las harinas de las legumbres, el color, y los atributos de textura. Se encontró una relación inversa entre el tamaño de la partícula y la palatabilidad del producto. El producto final fue desarrollado con harina de garbanzo cuyo tamaño de partícula fue 250 μm . El valor de luminosidad (L^*) del producto fue 79.19. Se utilizó la escala hedónica del 1-9, donde el 1 significa “me disgusta extremadamente” y el 9 significa “me gusta extremadamente”. Los resultados de aceptación según dicha escala, para el color, textura crujiente, sabor fueron 6.3, 6.5, 5.4, respectivamente; lo que favorece la utilización del garbanzo para productos nuevos tipo “snacks”.

D. Aporte nutricional

Los hidratos de carbono (CHO) son sustratos primarios para el metabolismo y su papel en la nutrición humana es proporcionar energía para las funciones normales del cuerpo. Sin embargo, también pueden afectar la saciedad, los niveles de glucosa en sangre, los niveles de insulina. La fermentación de los carbohidratos por las bacterias del colon ejerce control en las funciones de éste, ya que afecta el hábitat y tránsito intestinal, metabolismo, balance en la flora y la salud epitelial del intestino grueso (Cummings y Stephen, 2007). Estos factores afectan la salud humana en general; principalmente el control de peso, diabetes, enfermedad cardiovascular, cáncer de intestino grueso, y la salud gastrointestinal en general (Chibbar et al., 2010).

Desde la perspectiva de la salud humana, los carbohidratos pueden ser clasificados como carbohidratos disponibles y carbohidratos resistentes (Englyst et al., 2007). Los carbohidratos

disponibles se absorben en el intestino delgado y proporcionan sustratos metabólicos para la función humana (McCance y Lawrence, 1929; FAO, 2003). A los carbohidratos resistentes también se les conoce como carbohidratos no digeribles, no disponibles, o no glicémicos. Éstos, resisten la digestión en el intestino delgado, por lo que son mínimamente absorbidos o metabolizados (Chibbar et al., 2010). En vez, son fermentados por las bacterias del colon en el intestino grueso (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

Los carbohidratos de bajo IG son lentamente digeridos y absorbidos en el tracto intestinal y permiten el control de la insulina y la glucosa. La ingesta de estos alimentos puede tener efectos positivos en la saciedad, el estado anímico, y rendimiento cognitivo y de vigilancia. Además, es útil para tratar y prevenir el síndrome metabólico (metabolismo alterado luego de la ingesta de alimentos). Existe evidencia clínica que un cambio de una dieta de IG alto a una de IG bajo produce una mejora en el control glicémico y la reducción de lípidos séricos (Rizkalla et al., 2002).

El Índice Glicémico (IG) se utiliza para caracterizar el potencial de aumento de azúcar en la sangre por los carbohidratos de los alimentos (Jenkins et al., 1981). Es el valor que describe el aumento de azúcar en la sangre luego de la ingesta de alimentos que contienen carbohidratos, comparado a la hiperglucemia inducida por la ingesta de una cantidad equivalente de una comida estándar de carbohidratos (Rizkalla et al., 2002). Los alimentos que tienen una menor velocidad de digestión de almidones producen una respuesta lenta de glucosa en la sangre, por lo que son alimentos con índice glicémico bajo (Hawkings & Johnson, 2005). Estudios epidemiológicos indican que las dietas de IG bajo reducen el riesgo de enfermedades cardíacas, diabetes y cáncer (Wong & Jenkins, 2007). Leeds (2002) explica cómo una dieta con una carga glucémica baja (contenido de carbohidratos y la velocidad o respuesta de elevación de la glucemia por la ingesta del alimento)

e Índice Glicémico (IG) bajos pueden ayudar a personas con enfermedades coronarias y diabetes tipo 2.

Estudios revelan que el garbanzo cocido domésticamente tiene 3.1 g/100 g de almidón de digestión rápida, 7.2 g/100 g de almidón de digestión lenta, 3.9 g/100 g de almidón resistente, 14.25 g/100 g de almidón total, y 26.7 g/100 g CHO disponible de glucosa rápidamente disponible. Esto compara favorablemente con los garbanzos enlatados (38.9 g/100 g CHO disponible) y precocidos (43.3 g/100 g CHO disponible). El hecho de que este valor de glucosa disponible rápidamente sea menor en el garbanzo cocido domésticamente, se puede relacionar a un aumento en la velocidad de la digestibilidad del almidón del garbanzo empacado o la disminución en el contenido de almidón presuntamente por la hidrólisis a dextrinas y glucosa de los garbanzos enlatados (Hawkings & Johnson 2005).

El consumo del garbanzo tiene beneficios como la reducción en las respuestas de insulina y glicemia post-prandial (luego de la ingesta de alimentos), control de la glucosa y niveles de insulina, y control metabólico de diabetes mellitus tipo 2. Además, mejora la salud del tracto gastrointestinal y puede comportarse como sustrato para el crecimiento de microorganismos prebióticos (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

El contenido de fibra en media taza de garbanzo es 6.20 gramos (Tabla 1). Según la AACCC Internacional, la fibra dietética (FD) se define como las partes comestibles de plantas, o los carbohidratos análogos, que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado. Esta se fermenta parcial o completamente en el intestino grueso.

Las semillas de las legumbres generalmente se caracterizan por su contenido relativamente alto de fibra dietética en comparación con otros granos. La fibra dietética incluye lignina y otros

carbohidratos no disponibles que son constituyentes principales de las paredes celulares de la planta. Gran parte de esta fracción proviene de la cubierta de la semilla, por lo tanto, los tipos kabuli, que tienen una cáscara fina, tienen menor contenido de fibra dietética (11-16 %) en comparación con los tipos desi que tienen cáscara gruesa, (19-23 %) (Yadav et al., 2006).

Cardoso et al., (2001) desarrollaron un producto extruido donde combinó garbanzo, maíz y pulmón de bovino para observar el potencial nutricional y aplicarlo a poblaciones de niños con deficiencia en hierro. El producto final fue de un alto contenido y bio-disponibilidad de hierro y proteína, comparado con los extruidos puros de maíz. Además, de contar con la aceptabilidad sensorial del público, el producto brinda un 30 % del hierro necesario diariamente.

Las proteínas son esenciales en la dieta para proporcionarle al cuerpo los aminoácidos necesarios en la reparación y sustitución de tejidos, y síntesis de enzimas, anticuerpos y hormonas. La concentración de proteínas en los garbanzos es de 16.0 a 28.0 % en base seca. En comparación a los cereales, las legumbres tienen niveles bajos de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), pero alto contenido de lisina (Chibbar et al., 2010). Wang et al., (2010) presentan que 100 gramos garbanzos de tipo kabuli y desi contienen 1.92 g y 2.05 g de metionina, 0.19 g y 0.15 g de cisteína, y 5.47 g y 5.55 g de lisina, respectivamente. Estos aminoácidos azufrados, limitantes en el garbanzo, pueden ser complementados con el consumo de cereales que son ricos en dichos aminoácidos (Zia-Ul-Haq et al., 2007).

Tabla 1. Energía y contenido de macro nutrientes y fibra en el garbanzo

Porción	Energía (kcal)	Carbohidratos (g)	Proteínas (g)	Grasa (g)	Fibra (g)
½ taza	134	22.48	7.27	2.12	6.20

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Tabla 2. Contenido de vitaminas y minerales en el garbanzo

Porción	1/2 taza
Tiamina	0.095 (mg)
Ácido pantoténico	0.235 (mg)
Riboflavina	0.052 (mg)
Niacina	0.431 (mg)
Piridoxina	0.114 (mg)
Folato	141 (µg)
Vitamina E (α-tocoferoles)	0.29 (mg)
Calcio	40 (mg)
Hierro	2.37 (mg)
Magnesio	39 (mg)
Fósforo	138 (mg)
Potasio	239 (mg)
Sodio	6 (mg)
Zinc	1.25 (mg)
Cobre	0.289 (mg)
Manganeso	0.845 (mg)
Selenio	3 (mg)

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

II. Materiales y Métodos

Esta investigación se dividió en 3 (tres) etapas (Figura 4). La primera fue aplicar 3 (tres) tratamientos independientes (Fermentación, Germinación, y Remojo alcalino), a la semilla de garbanzo para determinar los cambios en la concentración de ácido fítico en las semillas de garbanzo tratadas. La segunda fue la elaboración del “crisp” mediante 3 formulaciones de harina de trigo y harina de garbanzo no tratado; con sus respectivos análisis químico-físicos. La tercera, fue aplicar el tratamiento con el mayor porcentaje de reducción (%Red.) de ácido fítico, para la elaboración del “crisp”.

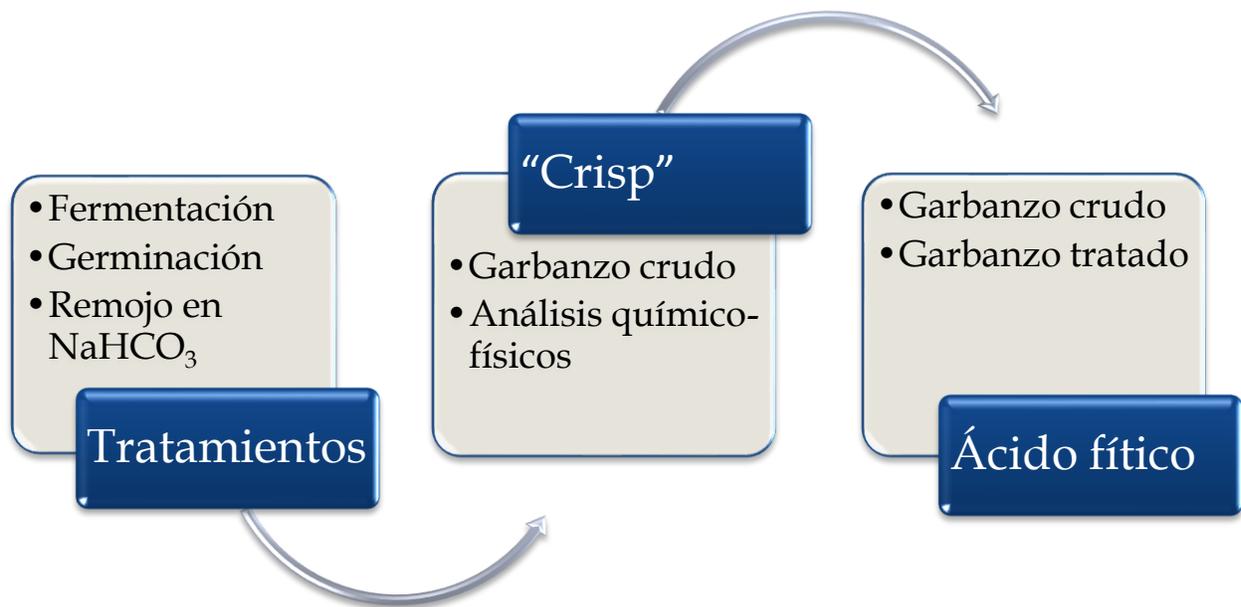


Figura 4. Etapas de investigación

A. Materia prima

Garbanzos secos (*Cicer arietinum* L.) del tipo kabuli, (Figura 5) se obtuvieron de Goya Puerto Rico, Inc. en Bayamón, PR, empacados en una bolsa plástica transparente. Los demás materiales (harina de trigo, almidón de papa pre-gelatinizado, aceite de oliva extra virgen, maicena, sal, azúcar, agua, manteca vegetal en spray) fueron obtenidos de un comercio local.



Figura 5. Garbanzos secos tipo kabuli

B. Reactivos

Todos los reactivos químicos utilizados fueron de grado analítico con pureza de 99.9%.

C. Tratamientos a la semilla del garbanzo

1. Diseño experimental

Los garbanzos secos se dividieron en 3 grupos de 435 gramos, que se utilizaron para las 3 réplicas. Cada grupo se dividió en 3 subgrupos (145 gramos), a los que se le aplicó uno de los tres (3) tratamientos: (1=Fermentación 2=Germinación 3=Remojo alcalino). Estos

tratamientos fueron estudiados para analizar el comportamiento del ácido fítico en el garbanzo: De cada repetición se escogieron 6 muestras completamente al azar en los siguientes tiempos 0, 3, 6, 12, 24, y 48 horas. Las muestras se analizaron por triplicado para determinar la concentración de ácido fítico, respecto al tiempo de cada tratamiento (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de tiempo y temperatura en tratamientos

Tratamiento	Tiempo (horas)	Temperatura °C
Fermentación	48	42
Germinación	48	28
Remojo alcalino	48	25

2. Preparación de las muestras

Las semillas de garbanzo fueron escogidas a mano para remover las arrugadas y de apariencia objetable. Las semillas secas se lavaron tres veces con agua destilada y se escurrieron para los tratamientos de germinación y remojo alcalino.

La molienda de los garbanzos, según el tratamiento, se realizó en una moladora de discos (Glenmills Inc, Modelo C11-1), ajustada para obtener una harina fina, la cual fue cernida dos veces por un tamiz de cocina. Las harinas fueron identificadas y almacenadas a 4 °C para su posterior procesamiento y análisis.

a. Fermentación natural de la harina

Se llevaron a cabo 3 réplicas de la fermentación de la harina de garbanzo, siguiendo el procedimiento utilizado por Granito et al., (2002). En una proporción 1:12 (w/v) se mezclaron 84 gramos de la harina de garbanzo con 1,008 mL de agua destilada esterilizada en autoclave. La fermentación de la harina de garbanzo se llevó a cabo en un fermentador (BioFlo®/CelliGen® 115, New Brunswick Scientific) (Figura 6). El mismo está equipado con un baño de agua el cual se mantuvo a un grado menos de la temperatura de proceso (Isotemp 3028, Fisher Scientific). Este posee un calentador y un sensor de control de temperatura.

El proceso se efectuó a temperatura de 42 °C con agitación constante a 440 rpm durante 48 horas. Se tomaron muestras de 10 mL a las 0, 3, 6, 12, 24, y 48 horas de fermentación utilizando pipetas estériles de 10 mL. La muestra en el tiempo 0 horas, se tomó en cuanto se inició el fermentador y llegó a la agitación constante establecida, aunque la temperatura era menor a la deseada. Luego que la suspensión alcanzó la temperatura controlada, se inició el tiempo de fermentación. El periodo entre el momento que se tomó la muestra a tiempo 0 horas y el momento en que se alcanzó la temperatura de fermentación fue de aproximadamente 180 minutos (3 horas). Las muestras fueron centrifugadas a 4700 rpm a 20 °C por 30 minutos. El precipitado fue liofilizado (Micro Modulyo-115, Thermo Savant) por 22 horas y se almacenó en una bolsa de polietileno identificada. Las muestras fueron colocadas en un desecador, hasta su posterior análisis.



Figura 6. Proceso de fermentación natural de la harina de garbanzo.

b. Germinación

Las semillas secas de garbanzo (145 g) fueron sumergidas en suficiente agua potable por 24 horas, previo a exponerse al proceso de germinación como lo describe Khattak (2007). Las semillas remojadas, se enjuagaron y fueron alineadas en una cámara de germinación de madera (2'x 1'x 1') con papel toalla en la base (Figura 7a). El proceso de germinación fue a una temperatura de $28.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas (Figura 7b.). La exposición lumínica fue proporcionada por un tubo de luz blanca fluorescente de 40 W (Sylvania) y una bombilla incandescente azul de 40 W. Las semillas fueron enjuagadas 2 (dos) veces al día para evitar el crecimiento microbiano y fueron rociadas

con agua potable 3 (tres) veces al día (9:00 am, 1:00 pm y 6:00 pm). Se tomaron muestras a las 0 horas, 3, 6, 12, 24, y 48 horas, y se almacenaron a 4 °C en bolsas de polietileno identificadas, para su posterior procesamiento. Los germinados fueron secados por 18 horas en un deshidratador (Nesco Professional Food and Jerky Dehydrator) a 52 °C. Las semillas secas fueron molidas, cernidas dos veces y almacenadas hasta su próximo análisis.



Figura 7.a. Cámara de germinación



Figura 7.b. Proceso de germinación de garbanzos

c. Remojo en solución de NaHCO_3

Las semillas secas de garbanzo (145 g) fueron puestas en remojo en 725 mL de una solución 0.75 % de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) en agua destilada a temperatura ambiente 25 °C (Paredes et al., 1991), por 48 horas (Figura 8). Se tomaron muestras a las 0, 3, 6, 12, 24, y 48 horas, y se hirvieron por 30 minutos en 725 mL de agua potable, (Hawkins & Johnson, 2005). Las mismas fueron escurridas y secadas por 18 horas en un deshidratador (Nesco Professional Food and Jerky Dehydrator) a 52 °C, (Reyes-Moreno et al., 2004). Las semillas secas fueron molidas, tamizadas dos veces, y almacenadas a 4 °C para su posterior análisis.



Figura 8. Remojo alcalino de garbanzos en solución de NaHCO_3 al 0.75%

D. Análisis de ácido fítico

La concentración de ácido fítico (myo-inositol hexakisfosfato) se determinó con el método indirecto de Haug & Lantzsch (1983). El método de Haug and Lantzsch tiene una exactitud

equivalente al método de la AOAC (1990). Además, es un método rápido, económico y utiliza menor cantidad de muestras y reactivos químicos (Queiroz et al., 2011).

La muestra (0.1200 ± 0.0005 g) se extrajo con 20 mL de HCl 0.2N en una agitación constante por 20 minutos. El extracto se centrifugó por 37 minutos a 4700 rpm y 20 °C. Se añadió una alícuota de 0.5 mL del extracto a un tubo de ensayo identificado. Se añadió una alícuota de 1.0 mL de la solución de sulfato de amonio férrico III dodecahidratado (0.20 g de sulfato de amonio férrico en 100 mL de HCl 2.0N y se aforó con agua destilada hasta 1000 mL). El tubo de ensayo se tapó con una canica y se calentó en un baño de María por 30 minutos, seguido de un baño de agua con hielo por 15 minutos (Figura 9).

Las muestras se dejaron reposar hasta alcanzar temperatura ambiente. En este momento se añadió una alícuota de 2 mL de la solución de 2,2'-bipiridina (10 g de 2,2'-bipiridina en 10 mL de ácido tioglicólico y se aforó con agua destilada hasta 1000 mL) y se agitó el tubo de ensayo. Se leyó la absorbancia a 519 nm en un espectrofotómetro (VWR UV-3100 PC Spectrophotometer) entre los 30 a 60 segundos, contra agua. Se leyó la absorbancia de las muestras por triplicado.

La curva de calibración (Figura 14), se realizó añadiendo de $3\mu\text{g}\cdot\text{mL}$ a $30\mu\text{g}\cdot\text{mL}$ (1.2-12mL) de una solución estándar de fitato de sodio (0.15g en 100mL de agua destilada) la cual se aforó hasta 100 mL con HCl 0.2N. Se determinó el efecto reductor (% Red) del tratamiento en el ácido fítico a través del tiempo.



Figura 9. Muestras para el análisis de ácido fítico

1. Análisis estadístico

Para detectar diferencias significativas entre las respuestas de las diferentes variables, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) usando InfoStat. Las diferencias entre tratamientos se realizaron con una probabilidad del 95 % ($\alpha=0.05$) y la diferencia entre medias de tratamientos se determinó con el procedimiento de Tukey ($\alpha=0.05$).

E. Elaboración del “crisp” con garbanzo no tratado

1. Formulación de la harina

Las formulaciones se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de Bressani (2002) de sustituir hasta un 30 % de harina de trigo por harina de garbanzo. Las formulaciones se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Mezcla de la harina para la elaboración del “crisp”.

Ingrediente	Formulaciones del “crisp”			
	Control	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Harina de trigo	100	90%	80%	70%
Harina de garbanzo	0%	10%	20%	30%
Total	100%	100%	100%	100%

2. Procesamiento de la masa

Los ingredientes utilizados para la preparación de la masa se presentan en la Tabla 5. Se mezcló la harina, el azúcar, la sal hasta obtener una mezcla homogénea (M.1). El almidón de papa se hidrató en exceso de agua para su posterior pre gelatinización (agitación constante en un baño de agua caliente, hasta observar cambio en consistencia y viscosidad). A la M.1 se le sumó el agua, el aceite y el almidón de papa pre gelatinizado. Se combinó la masa en una mezcladora Kitchenaid® hasta formar una masa homogénea. La masa se cubrió con una toalla húmeda y se dejó reposar de 60 minutos. Luego se aplanó con un rodillo para formar una lámina de aproximadamente un $\frac{1}{8}$ de pulgada y se cortó en cuadrados de aproximadamente 1”x1.25” para formar los “crisps”. Los “crisps” fueron pinchados con un tenedor, para evitar que la masa se inflara. La elaboración del “crisp” se presenta en el diagrama de flujo (Figura 10). El producto horneado se presenta en la Figura 12.

Tabla 5. Formulación para elaboración de los “crisps”.

Ingrediente de la masa	Cantidad (g)
Harina	170.0
Almidón de papa pre gelatinizado	2.5
Maicena	2.5
Azúcar	5.0
Sal	5.0
Aceite de oliva Extra Virgen	30.0
Agua	80.0

Fuente: Carey, J., et al., (1998) United States Patent, Patent No. 5,747,092.

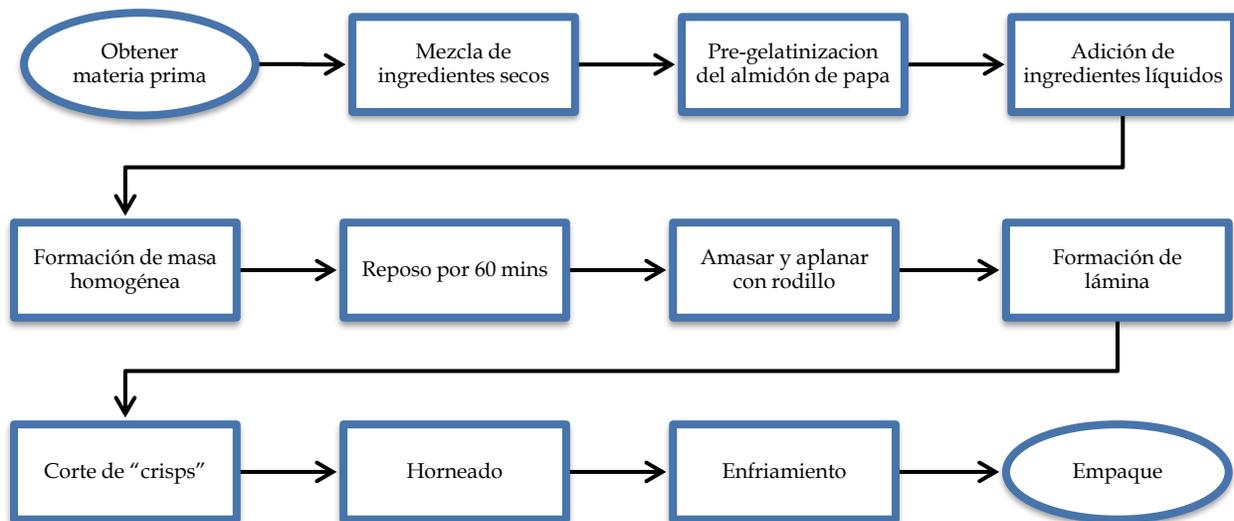


Figura 10: Diagrama de flujo elaboración del “crisp”

3. Horneado

Los “crisps” se colocaron en una bandeja de aluminio y se hornearon en horno de convección VULCAN a 350 °F, por 9 minutos. Luego se dejaron enfriar completamente a temperatura ambiente. El producto final se presenta en la Figura 11.



Figura 11. Producto horneado (Formulación 70:30 Harina trigo:Harina garbanzo).

4. Empaque

Cada muestra de aproximadamente 10 “crisps” fue individualmente empacada en papel de aluminio y bolsa de polietileno de doble cierre, y debidamente identificada (Figura 12). Las muestras fueron almacenadas a temperatura de salón, por 6 semanas, lejos de posibles fuentes de contaminación y humedad.

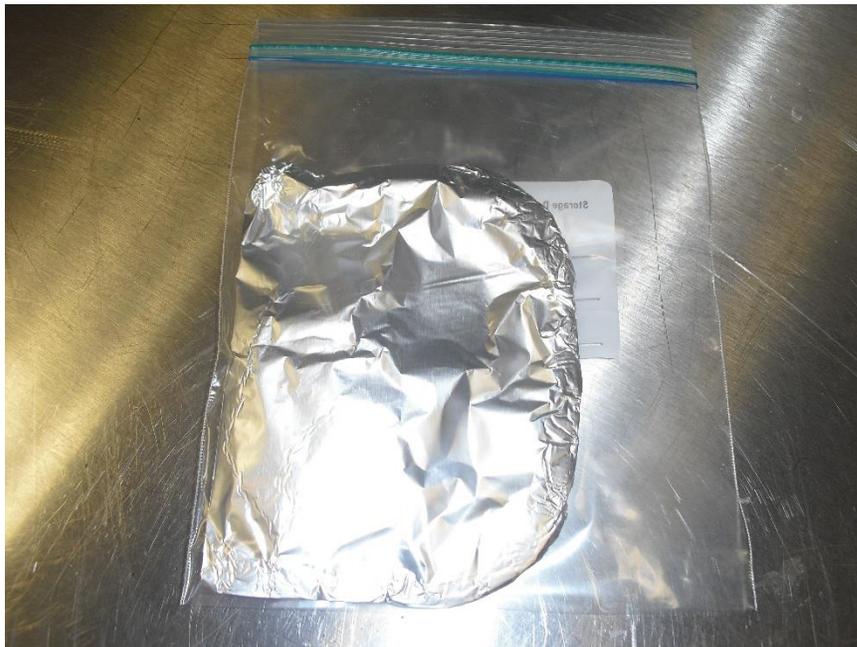


Figura 12. Empaque de “crisps” fríos en bolsa de polietileno de doble sello

5. Análisis químicos y físicos de las muestras

Las muestras se evaluaron semanalmente durante un periodo de 6 (seis) semanas. Para cada uno de los parámetros se analizaron muestras por triplicado. Las muestras fueron escogidas al azar.

a. Humedad

El contenido de humedad se realizó mediante el siguiente procedimiento. Se identificaron los crisoles limpios y se secaron en un horno al vacío (National Appliance Company, Model 5851) a 100 °C. Se sacaron del horno, se enfriaron en un desecador y se pesaron en una balanza analítica (Mettler Toledo, Model ML 204). Se repitió este proceso hasta obtener peso constante (diferencia menor de 0.002g). Se añadió 1.0 gramo de muestra del producto molido y se anotó su peso. La muestra se dejó secando en el horno toda la noche. Al día siguiente el crisol con el residuo se retiró del horno, se enfrió y se pesó. Este proceso se repitió hasta obtener peso constante. Se analizaron muestras por triplicado de cada producto. El porcentaje de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\%H = [(w_c + w_{mh}) - (w_c + w_{ms})] * 100/w_{mh}$$

Donde:

w_c = Peso del crisol

w_{mh} = Peso de la muestra húmeda

w_{ms} = Peso de la muestra seca

$\%H$ = Porcentaje de humedad

b. Actividad de agua (A_w)

La actividad de agua se determinó a través del equipo Aqua Lab 4TE Decagon Devices, calibrado con una solución de NaCl 6.0m con un A_w de 0.760. El producto molido fue añadido hasta la mitad del recipiente correspondiente y fue introducido al equipo para la lectura de A_w y temperatura. Las muestras se analizaron por triplicado.

c. pH

El pH de todos los productos se determinó por el método de la “American Association of Cereal Chemists” AACC 02-52.01 (1961). Se colocaron 5 gramos del “crisp” en trozos, en un Erlenmeyer de 100 mL con 50 mL de agua destilada fría. Las muestras se agitaron por 30 minutos y se dejaron reposar por 10 minutos. Acto seguido se decantó el líquido y se midió el pH y la temperatura, con un metro de pH (Sartorius Docu-pH Meter) debidamente estandarizado con soluciones amortiguadoras, con pH de 4 y 10. Las muestras se analizaron por triplicado.

d. Textura

El análisis de dureza de los productos horneados fue realizado por triplicado utilizando un analizador de textura (Texture Technologies Analyzer-Sable Micro System Model TA.XT2). La dureza se determinó por compresión, utilizando una pila de 3 “crisps”. Los parámetros utilizados para el estudio fueron: velocidad de la preprueba, 1 mm/s; prueba 5 mm/s; y post-prueba 10 mm/s; y con un implemento TA-25. La dureza, expresada como gramos de fuerza (g), se tomó como el pico máximo de fuerza (Shirani et al., 2009).

e. Color

Las medidas de color de todos los productos horneados enteros se analizaron por triplicado, utilizando un colorímetro (Hunter Lab, MiniScan) con Iluminante D-65. El instrumento se configuró para un observador de 10° y determinación triestímulo de los parámetros L^* , a^* y b^* . (Shirani, 2009). El colorímetro fue estandarizado utilizando los platos blanco y negro, previo a cada uso. Cada parámetro fue leído de acuerdo a la siguiente escala: “L” indica luminosidad o claridad del color (0=negro, 100= blanco), “a*” (-a* = verde, +a* = rojo) y “b*” (-b* = azul, +b* = amarillo). También se determinó el Ángulo HUE o tono de color [$H^{\circ} = \tan^{-1} (b/a)$] y croma o saturación del color $[(a^2 + b^2)]^{1/2}$ (McGuire, 1992).

F. Elaboración del “crisp” con garbanzo tratado

Se utilizó el tratamiento de germinación para la producción de harina de garbanzo dado que la germinación disminuye el contenido de taninos, aumenta la digestibilidad *in vitro* de proteínas, aumenta el contenido de fibra soluble, y aumenta la biodisponibilidad de hierro y calcio (Ghavidel & Prakash, 2006).

Se utilizó el mismo procedimiento para la preparación de la masa y horneado en elaboración del “crisp” con harina de garbanzo de la formulación 70:30 harina de trigo:harina de garbanzo. Se utilizó esta formulación para integrar la mayor cantidad de nutrientes en el “crisp” sin afectar las características químicas y físicas del mismo.

G. Análisis sensorial

Se realizaron pruebas de ordenamiento, donde se evaluó el atributo de preferencia (Apéndice 5). El análisis sensorial fue realizado por 45 panelistas no entrenados de ambos sexos y diferentes edades. La evaluación sensorial realizada por los panelistas fue a temperatura de laboratorio bajo luz blanca. A los panelistas se dieron 3 muestras de los crisps que incluía el control, dos crisps de harina de trigo:harina de garbanzo 70:30 con harina tratada por germinación y harina no tratada. Se le pidió que colocaran las muestras en orden de preferencia, donde el número 1, representaba la de menor preferencia, mientras que el número 3 representaba la de mayor preferencia. A cada muestra se le asignó un código aleatorio de 3 dígitos que identificaban los tratamientos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. ANÁLISIS DE ÁCIDO FÍTICO

1. Curva calibración

La Figura 13 muestra la curva de calibración de la solución estándar de fitato de sodio. Se utilizó el método indirecto de Haug & Lantzsch para determinar el fósforo fítico, mediante un método espectrofotométrico. La absorbancia es inversamente proporcional a la concentración del fósforo fítico (P_{Phy}). Esto se debe a que la primera reacción de quelación ocurre por parte del ácido fítico con el exceso de hierro de la solución de sulfato de amonio férrico III dodecahidratado, formando el complejo Hierro-Ácido Fítico ($[Fe-Ac.Fít.]$) el cual es insoluble. Cuando se adiciona la 2,2'-bipiridina, ocurre la segunda reacción de quelación donde ésta reacciona con el hierro residual (libre), formando un complejo ($[Fe-Bipy]$), que produce un color rosa intenso, el cual es cuantificado coloriméricamente.

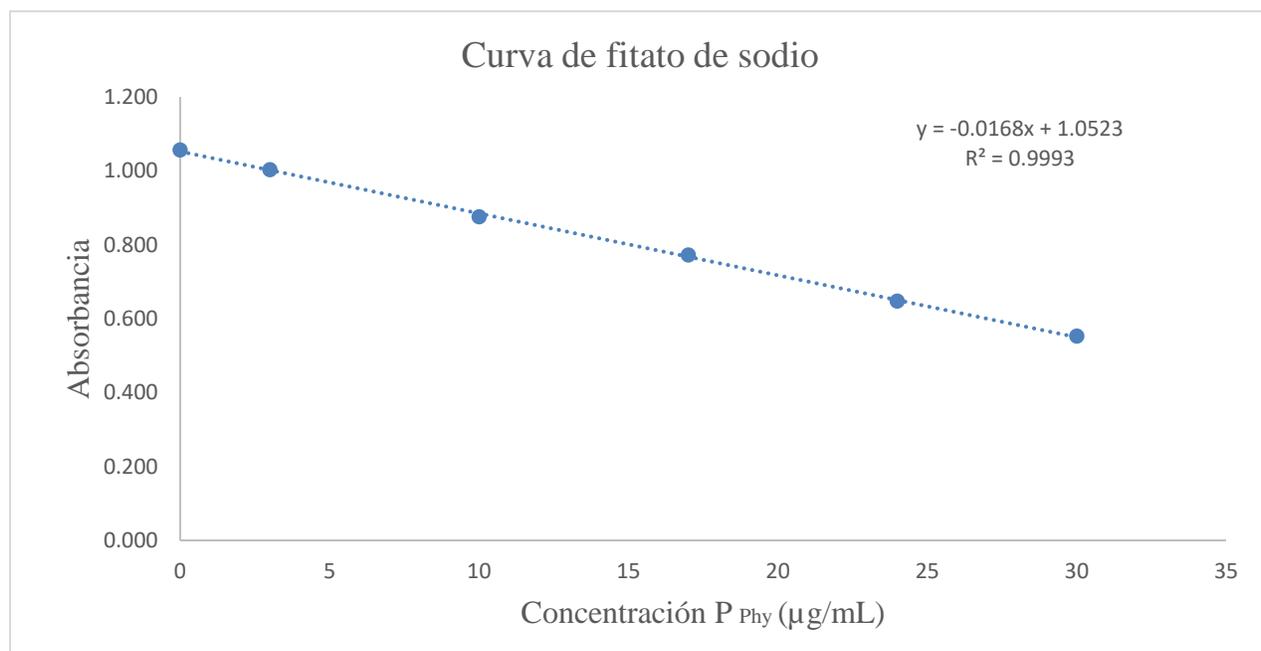


Figura 13. Curva de calibración de fitato de sodio

Se utilizó la ecuación de la línea para calcular la concentración de fósforo fítico (P Phy) en $\mu\text{g/mL}$ mediante la siguiente ecuación (Ec. 2):

$$[P \text{ Phy} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right)] = [(Absorbancia - 1.0523) / -0.0168] \quad \text{Ec. 2}$$

La concentración de ácido fítico, en porciento, se determinó mediante la siguiente ecuación (Ec. 3):

$$\% \text{ Ac. Fít} = \left[P \text{ Phy} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) \right] * 20 \text{ mL} * \left(1\text{E}-6 \frac{\text{g}}{\mu\text{g}} \right) * \left(\frac{1}{0.12\text{g}(1-Hgt)} \right) * 3.54 * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$[P \text{ Phy}]$ es la concentración del fósforo fítico

$\% \text{ Ac. Fít}$ es el porcentaje del ácido fítico en la muestra

20 mL es el volumen del extracto

0.12 g es el peso de la muestra

3.54 Es el factor del contenido del fósforo fítico (P Phy), asumiendo que la molécula de ácido fítico contiene 28.2 % de fósforo.

Hgt es la humedad del garbanzo según su tratamiento

2. Ácido Fítico

Tabla 6. Análisis de la concentración de ácido fítico del garbanzo (%B.S.)

Tratamiento	0h	3h	6h	12h	24h	48h
Crudo	0.81	--	--	--	--	--
Fermentación	0.14 ^a	0.07 ^a	0.15 ^a	0.29 ^b	0.25 ^b	0.15 ^a
Germinación	0.78 ^a	0.76 ^a	0.87 ^b	0.77 ^a	0.77 ^a	0.72 ^a
Remojo alcalino	0.44 ^a	0.47 ^a	0.48 ^a	0.50 ^a	0.44 ^a	0.52 ^a

Valores son medias de tres réplicas. Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) a través del tiempo. BS representa base seca.

La Tabla 6 muestra los resultados del análisis de varianza del efecto de los diferentes tratamientos en la concentración de ácido fítico en el garbanzo a través del tiempo. Se observa que el contenido de ácido fítico luego de 48 horas de tratamiento no fue significativamente diferente al valor a las 0 horas. Por el contrario, los datos demuestran aumentos significativos entre las 12 y 24 horas para los garbanzos fermentados y a las 6 horas para los garbanzos germinados. No obstante, se observa una reducción marcada en el contenido de ácido fítico de los diferentes tratamientos al comparar contra el contenido de los garbanzos crudos. Esta diferencia se discute más adelante.

a. FERMENTACIÓN

La fermentación natural de la harina de garbanzo es un proceso anaeróbico, donde el garbanzo no se trata previamente para alterar su flora bacteriana original (Granito et al., (2002). La Tabla 6, muestra el análisis de varianza del tratamiento de la fermentación de la harina de garbanzo a través del tiempo. No se observan cambios estadísticamente significativos a lo largo del tratamiento de fermentación. Se observa un aumento significativo ($p < 0.05$) a las 12 horas de fermentación, de 0.15 a 0.29 g/100 g. Entre las muestras de 24 y 48 horas se observa una disminución significativa de 0.25 g/100 g a 0.15 g/100 g. Estos resultados se asemejan al estudio en chícharos de Granito et al., (2004). Las condiciones de este estudio fueron similares a los de la presente investigación. Al cabo de las 48 horas de fermentación el contenido de ácido fítico en el chícharo de variedad Orituco fue de 0.15 g/100 g (bs).

Reddy & Salunkhe (1980) han reportado que existe una disminución leve en el ácido fítico de la habichuela negra luego de 24 horas de fermentación, lo que concuerda con los resultados en la Tabla 6. No obstante, los resultados de esta investigación son menores de los que reportan Granito y colaboradores (2002) en una fermentación natural de harina de habichuelas pintas. Esos autores

solo reportan el valor del contenido del crudo (0.41 % bs) y luego de 48 horas de fermentación a 42 °C (0.25 % bs).

El presente estudio reflejó que, al culminar el proceso de fermentación de harina de garbanzo, el contenido de ácido fítico no cambió significativamente respecto al valor inicial. Sin embargo, se observa una reducción considerable entre el contenido a las 0 horas respecto al valor del garbanzo crudo. Esta reducción se explica en detalle más adelante, pero se entiende que puede ser resultado de la dilución de la harina en agua, en una proporción 1:12 w/v, necesaria para alimentar el fermentador. La naturaleza hidrosoluble del ácido fítico pudo resultar en la dilución del factor anti-nutricional en el medio de fermentación.

Granito y colaboradores (2002) mencionan que la reducción del ácido fítico en las leguminosas puede deberse a la solubilidad del compuesto químico en el medio de fermentación y la posterior remoción de éste. Por su parte, Cabrejas y colaboradores (2009) concluyen que es posible que la disminución en el factor anti-nutricional sea por la lixiviación, o sea, la percolación de este compuesto a la solución de remojo. De hecho, Granito y colaboradores (2002) reportaron que los valores de ácido fítico en la fermentación de habichuelas pintas y de harina de habichuelas pintas, son menores cuando se aumenta la proporción del medio de fermentación. La harina de habichuelas al concluir el tratamiento de fermentación en las siguientes diluciones 1:4 w/v, 1:6 w/v, 1:12 w/v reflejó un contenido de ácido fítico de 0.37 % bs, 0.38 % bs, y 0.25 % bs, respectivamente. Mientras que la fermentación de habichuelas enteras reflejó 0.31 % bs en 1:12 w/v.

Se puede concluir que el tratamiento de fermentación de la harina de garbanzo no afecta el contenido de ácido fítico durante 48 horas. El proceso de fermentación no es efectivo para reducir

el ácido fítico ya que no existe cambio significativo durante el proceso. Sin embargo, se observa que los pasos asociados al tratamiento pueden ser responsables de la reducción del mencionado factor anti-nutricional en la harina de garbanzo.

b. GERMINACIÓN

La germinación involucra el proceso del rompimiento de la semilla del garbanzo debido a un aumento en la actividad enzimática (Vijayarghavan, 1981), en este caso la enzima fitasa. Durante la germinación de la semilla, la enzima 6-fitasa es la encargada de la actividad enzimática en el crecimiento de la planta, proveyendo recursos biosintéticos en el crecimiento de tejidos. Este proceso activa las fitasas, aumentando la disponibilidad de fósforo en el desarrollo del embrión (Oatway et al., 2001). La actividad enzimática involucra la hidrólisis del IP6, desfosforilando el myo-inositol fosfato en sus derivados (IP5, IP4, IP3, IP2, IP1), reduciendo así el ácido fítico (Frossard, 2000). La enzima fitasa es capaz de degradar el ácido fítico mediante el rompimiento del enlace éster (Sandberg et al., 1999); disminuyendo así la capacidad quelante y aumentando la biodisponibilidad de minerales.

Los resultados en la Tabla 6 muestran que la concentración de ácido fítico no presentó cambios significativos luego de 48 horas respecto al valor inicial a las 0 horas. Los resultados de esta investigación concuerdan con el estudio que realizaron Hemalatha, y colaboradores (2007), donde no se encontró una reducción significativa en el contenido de ácido fítico en semillas germinadas de garbanzo. Las mismas fueron analizadas, reflejando un contenido del factor anti nutricional a 0 horas (180.8 mg/100 g), 24 horas (170 mg/100 g) y 48 horas (164.2 mg/100 g).

Por otra parte, los resultados de la presente investigación son menores a los reportados por El-Adawy (2002). En dicho estudio, el garbanzo crudo con un contenido de ácido fítico inicial de

1.21 % mostró 0.53 % del factor anti-nutricional luego de ser remojado por 12 horas y germinado por 3 días en la oscuridad entre capas gruesas de algodón. Shimelis & Rakshit, (2007) explican que este descenso del ácido fítico durante la germinación y crecimiento de la planta puede explicarse por la hidrólisis del compuesto que llevó a cabo la enzima fitasa. Durante la germinación se liberan fosfatos inorgánicos para el crecimiento de la planta provenientes del fósforo orgánico en el ácido fítico. Los investigadores concluyen que el tratamiento de germinación y su efecto reductor en el ácido fítico puede mejorar la calidad nutricional ya que dicho compuesto es uno de los responsables en la biodisponibilidad de minerales.

La germinación bajo luminosidad, similar a las condiciones de la presente investigación, solo se ha reportado en estudios de Khattak et al., (2007) en semillas de garbanzo desi. Dicho estudio reveló un 60 % de reducción en el contenido de ácido fítico. La concentración de ácido fítico en para garbanzos kabuli en esta investigación son mayores que los reportados por Khattak y colaboradores (2007) para garbanzos desi. Sin embargo, la germinación bajo luz no presentó beneficios de acuerdo a los resultados del este estudio.

c. REMOJO ALCALINO

El remojo y la cocción parcial de las leguminosas inactiva factores sensibles a la alta temperatura. Los cereales y leguminosas sometidos a tratamiento térmico experimentan una reducción en el contenido de fitatos que, a su vez, está en función de una serie de factores como el tipo de tratamiento (térmico), la temperatura, el pH, el producto y la presencia de proteínas y cationes asociados a la molécula de ácido fítico (Febles, 1998). La Tabla 6 muestra el análisis de varianza del tratamiento de remojo de la semilla del garbanzo en una solución alcalina (0.75 % NaHCO₃),

en la concentración del ácido fítico a través del tiempo. No hay cambios significativos ($p < 0.05$) en el contenido de ácido fítico en la semilla del garbanzo bajo remojo alcalino.

El contenido de ácido fítico se mantuvo constante a través del tiempo de tratamiento, por lo que no se encontró evidencia de que el remojo alcalino tenga efecto reductor en la reducción del factor anti-nutricional.

Al comparar el valor inicial (0 horas) contra el contenido del garbanzo crudo, sin embargo, se observa una reducción considerable. Esta diferencia se explica en detalle más adelante, pero se entiende que puede estar relacionada con el proceso de cocción (30 minutos en agua hirviendo).

Los resultados de esta investigación concuerdan con estudios de Xu et al., (2016) donde se analiza el efecto del procesamiento del garbanzo kabuli remojado y no remojado en la reducción del ácido fítico. La mayor reducción del factor anti-nutricional ocurrió en el garbanzo remojado por 16 horas y cocido a presión por 20 minutos (54 % reducción), seguido de los no remojados, pero cocidos bajo el mismo método (39 % reducción). La reducción en el contenido de fitatos en los garbanzos procesados puede ser atribuido a la disminución de la capacidad de extracción del agua sobre el fitato causado por los procesos térmicos (Xu et al., 2016).

Cabrejas y colaboradores (2009) explican que el remojo por 16 horas en agua potable y la cocción por 70 mins de la variedad de garbanzos Sinaloa no logró reducir el ácido fítico en la leguminosa. Además, indican que dicho factor nutricional se afectó parcialmente por los procesamientos (remojo, cocción y deshidratación) debido a su naturaleza termoestable.

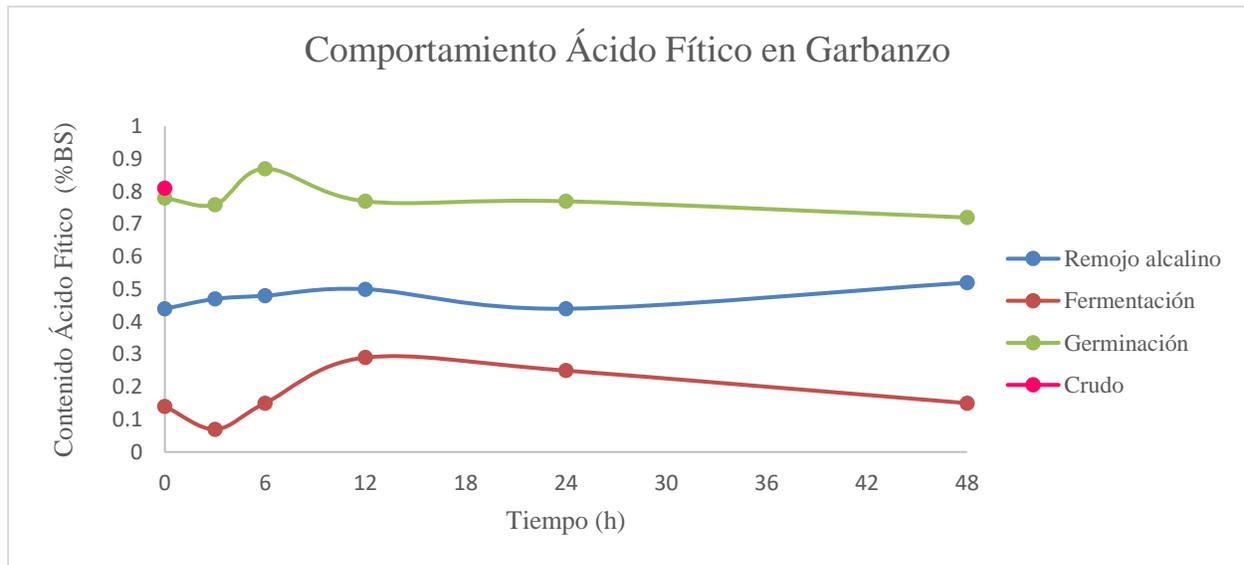


Figura 14. Comportamiento del ácido fítico a través del tiempo en el garbanzo tratado.

Al comparar el contenido de ácido fítico de los garbanzos remojados contra el garbanzo crudo, se observa una reducción considerable. Este resultado se asimila al de Vadivel y Pugalenthí, (2008) donde se observa que el procesamiento de las habichuelas “velvet” blancas remojadas en una solución de bicarbonato de sodio 0.20 % por 4 horas y cocción por una hora tienen un mayor efecto reductor en el ácido fítico (aprox. 41 % Red) comparado con soluciones de 1 % CaCl_2 (aprox. 36 % Red) y 1 % NaCl (aprox. 25 % Red).

Estudios de Shimelis & Rakshit (2007) en habichuelas pintas muestra que el remojo en una solución al 0.05 % de bicarbonato de sodio y un tiempo de cocción de 35 minutos influye en el que la testa (cáscara) y los cotiledones se ablanden. Atribuyen la reducción del ácido fítico de las habichuelas remojadas a la actividad enzimática de la fitasa y la difusión de los productos. También sugieren que la cocción puede remover y disminuir ciertos componentes termoestables como fitatos y taninas. La combinación de ambos tratamientos, (remojo seguido de cocción), resultó en la reducción del contenido de dicho compuesto debido a la hidrólisis. Exponen que el 99 % del

total del ácido fítico está en forma soluble en agua y ésta podría servir como medio para disminuir o eliminar el factor anti-nutricional (Shimelis & Rakshit 2007).

Vidal y colaboradores (1994), estudiaron el efecto del remojo por 9 horas y la cocción por 35 minutos en lentejas. En el estudio observaron que el remojo en una solución de bicarbonato de sodio 0.07 % tuvo un 23 % de reducción en ácido fítico, y combinado con la cocción tuvo un 32 % de reducción. Los autores exponen que el remojo únicamente en agua (27 % reducción) o en una solución de ácido cítrico 0.1 % (37 % reducción) es más efectivo para la reducción del factor anti- nutricional. Deshpande & Cheryan (1983), encontraron una gran reducción del ácido fítico en habichuelas remojadas por 12 horas, en una solución de bicarbonato de sodio al 2.0 % en comparación con las remojadas sólo en agua destilada. Por lo que la concentración del bicarbonato de sodio puede ser un elemento que favorezca en la reducción del ácido fítico.

Los resultados de esta investigación sugieren que para la reducción del ácido fítico, el remojo de los garbanzos en una solución de bicarbonato al 0.75 % no interfiere en el contenido del mencionado factor anti-nutricional. Mientras que la cocción por 30 minutos es más efectiva cuando se aplica a la semilla en su estado natural. Adicionalmente, la actividad enzimática endógena es destruida por el tratamiento térmico de la cocción parcial (Chitra et al., 1996).

3. Valor inicial de ácido fítico

a. Procesamiento

El procesamiento del garbanzo fue distinto para todos los tratamientos. En algunos casos la semilla fue tratada previo o posteriormente a su tratamiento al momento de tomar la muestra inicial. A

continuación, se presenta el procesamiento completo de los garbanzos desde la etapa inicial de cada tratamiento hasta el análisis de ácido fítico.

- Semilla garbanzo “crudo” (control): Escogido, molienda, tamizado, análisis de ácido fítico.
- Fermentación: Escogido semillas, molienda, tamizado, pesaje, dilución en beaker con agua esterilizada (1:12 w/vol), traspaso al fermentador, fermentación, centrifugación, congelación, liofilización 22 h, almacenaje en desecador, análisis de ácido fítico.
- Germinación: Escogido semillas, lavado, remojo 24 h en agua potable, germinación, almacenaje a 4 °C, secado en deshidratador a 52 °C, por 18 h, molienda, tamizado, identificación y almacenaje en bolsas de polietileno, análisis de ácido fítico.
- Remojo alcalino: Escogido semillas, lavado, remojado en solución alcalina (NaHCO₃ 0.75 %), cocción en agua hirviendo (30 mins), identificación y almacenaje a 4 °C, secado en deshidratador a 52 °C, por 18 h, molienda, tamizado, almacenaje en bolsas de polietileno a 4 °C, análisis de ácido fítico.

b. Discusión

Tabla 7. Contenido de ácido fítico en el tiempo cero (% bs)

Tratamiento	Raw	Fermentación	Germinación	Remojo alcalino
Ácido Fítico a 0 h	0.81 ^c	0.14 ^a	0.78 ^c	0.44 ^b

Valores son medias de tres réplicas. Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) a través del tiempo. bs representa base seca.

i. Crudo

Las semillas escogidas de garbanzo crudo se le aplicó un tratamiento primario por parte de la molienda y el cernido. Estas semillas no fueron secadas en horno o deshidratador previo al análisis

de ácido fítico. Al tiempo de análisis, el garbanzo crudo o control se estudia en su forma nativa, por lo que no se le aplica algún otro tratamiento posterior a la molienda. El contenido de valor del ácido fítico de la semilla de garbanzo es de 0.81 g/100 g en base seca. El crudo nunca entra en contacto con el agua o calor por lo que su contenido de ácido fítico está concentrado. No se aplica un tratamiento secundario por lo que no existe una difusión de producto en alguna solución de remojo, o la activación de la fitasa, tampoco la semilla es expuesta a tratamiento térmico que pueda reducir la concentración de este factor anti-nutricional.

ii. Fermentación

La Figura 14 muestra el comportamiento del ácido fítico en el tiempo 0 h, de los tratamientos. El proceso de fermentación muestra una gran diferencia entre el valor del crudo y el valor al tiempo 0 h. Durante el proceso hay que tomar en consideración 2 factores: el tiempo de muestreo y el procesamiento de la harina. El tiempo 0 h cuando se recolectó la muestra, representa el tiempo luego de hacer una mezcla homogénea de harina de garbanzo en agua (1:12 w/v), colocarla en el fermentador; y tener la suspensión de harina de garbanzo bajo 440 rpm. Cabe señalar que cuando se alcanzaron las revoluciones por minuto deseadas, el fermentador aun no registraba la temperatura deseada de 42 °C.

Al comparar el valor a 0 horas contra el garbanzo crudo, se observó una reducción significativa (82.7 % reducción) en el porcentaje de ácido fítico en el tiempo cero 0.14 g/100 g (bs) del tratamiento de fermentación, respecto al garbanzo crudo 0.81 g/100g bs. Esta reducción puede ser debido a la disolución del ácido fítico en el agua durante la preparación de la mezcla homogénea y el tiempo en que la suspensión alcanza las revoluciones por minutos deseadas. Es probable que

hubiera una lixiviación de productos entre el ácido fítico en la harina de garbanzo y el medio de fermentación en este tiempo, y que fuera descartado en el proceso de centrifugación.

Se dice que el remojo reduce el ácido fítico de la mayoría de las leguminosas, porque el ácido fítico está almacenado una forma relativamente hidrosoluble como fitato de sodio o fitato de potasio (Chang et al., 1977) en los cuerpos proteicos de los cotiledones. La mayoría de las proteínas en los garbanzos son de reserva y se clasifican en base a su solubilidad, las globulinas representan 70 % del total de las proteínas del garbanzo. Las proteínas de reserva son bajas en amino ácidos azufrados: metionina, cisteína y triptófano. La mayoría de estas proteínas son solubles en agua (Aguilar & Vélez, 2013). Evidencia química y microestructural demuestra que el ácido fítico se localiza en los cuerpos proteicos de la soya, está distribuida mayormente de forma soluble como una sal fítica-proteína, con cantidades significativas depositadas específicamente en inclusiones globoides (cristal esférico en los cuerpos proteicos de los tejidos de la planta que contiene nutrientes para el crecimiento) (Prattley & Stanley, 1982).

Para realizar la fermentación se procede a hacer la molienda y el tamizado, donde se descarta la cáscara para obtener una harina fina, mientras que el contenido de los cotiledones, que es el utilizado, está más expuesto al medio de fermentación y a la difusión de productos. Dado que el ácido fítico se encuentra en los cuerpos proteicos de los cotiledones de la semilla del garbanzo (Thompson, 1993), y éstas al ser solubles en agua, aumenta la posibilidad de que el mismo se haya disuelto en el agua mediante una difusión de productos, (Chang et al., 1977), (Aguilar & Vélez, 2013), (Prattley & Stanley, 1982).

Cuando se comparan los tratamientos, se observan condiciones iniciales iguales para el crudo y la harina a fermentar. El crudo no recibe ningún tratamiento post-molienda. Mientras que para la fermentación se hace una mezcla homogénea de harina de garbanzo-agua. El ácido fítico, al ser hidrosoluble, se pudo haber solubilizado en el medio y pasar a alojarse allí; disminuyendo significativamente su contenido. Se recomienda para estudios futuros, analizar el agua de fermentación al mismo tiempo de muestreo.

iii. Germinación

La muestra de los garbanzos tratados por germinación al tiempo 0 h (0.78 g/100 g bs), no muestra diferencia significativa en el contenido de ácido fítico, respecto al control (0.81 g/100 g bs); pese a que las semillas de garbanzo fueron remojadas por 24 horas previo a la germinación y la muestra inicial fue tomada inmediatamente al colocarse las semillas en la cámara de germinación. Este valor inicial de la germinación refleja que el remojo en la semilla entera del garbanzo no reduce el ácido fítico.

iv. Remojo alcalino

Las semillas de garbanzos fueron remojadas en bicarbonato de sodio hasta el tiempo de muestreo y luego cocidas por 30 minutos. Las semillas que representaron la muestra 0 h se tomaron inmediatamente al echar los garbanzos a la solución de bicarbonato y se pasaron al proceso de cocción. A pesar de la naturaleza termoestable del ácido fítico, es probable que durante el proceso de cocción el mismo se haya degradado y la concentración haya disminuido a 0.44 g/100 g (bs). Shimelis & Rakshit (2007) explican que la cocción de leguminosas puede remover o eliminar factores anti-nutricionales termoestables como los fitatos.

Es viable que la reducción en ácido fítico ocurra durante el proceso de cocción del garbanzo por lixiviación hacia el agua. Chibbar y colaboradores (2010), exponen que la pared celular de los cotiledones de las leguminosas tiene una gran cantidad de pectinas que se solubilizan en solución alcalina y agua caliente. Al ser cocido el garbanzo, el ácido fítico pudo haber estado más accesible a la difusión de productos. Por tanto, es factible que la disminución en el contenido inicial de la muestra del remojo alcalino sea favorecida por el tratamiento térmico y no el remojo.

B. ANÁLISIS DE ÁCIDO FÍTICO EN PRODUCTOS HORNEADOS

La Tabla 8 muestra los valores del análisis de varianza de ácido fítico en el producto horneado confeccionado con harina de garbanzo no tratada, y con harina de garbanzo tratada por germinación. El análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el producto horneado con harina de garbanzo tratado en comparación con el no tratado. El contenido inicial de ácido fítico en ambas harinas es distinto (0.81 % en la harina cruda y 0.72 % en la harina germinada), existe un efecto de dilución en la concentración de éste cuando se realizó la mezcla de productos. Aunque no hay diferencia significativa, el contenido de ácido fítico en el producto elaborado con harina de garbanzo no tratado es 5 veces el contenido de ácido fítico en el producto elaborado con harina de garbanzo germinado. Estos resultados confirman el efecto reductor de la germinación del ácido fítico. La reducción en este factor anti-nutricional en estos productos puede deberse a la exposición de tratamiento térmico en el horneado. El proceso del horneado influye en la disminución del valor del ácido fítico de ambos productos, por lo que se considera como una constante, puesto que los tratamientos térmicos de cualquier tipo inactivan las enzimas anti-nutricionales en las leguminosas (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

Tabla 8. Contenido de ácido fítico en productos horneados

Producto horneado	Ácido Fítico (% b.s.)
Crudo	0.05 ^a
Germinado	0.01 ^a

Valores son medias de tres réplicas. Valores con diferente letra en la misma columna presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) b.s., representa base seca.

C. ANÁLISIS QUÍMICOS Y FÍSICOS DE LOS “CRISPS”

1. Efecto de nivel de sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo en productos horneados

En esta etapa de la investigación se estudió el efecto del nivel de sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo en los parámetros químicos y físicos en los productos horneados “crisps”. Se evaluó la humedad, la actividad de agua (A_w), la textura y el color: luminosidad, tonalidad y cromaticidad o saturación en los productos horneados. Los “crisps” fueron realizados bajo las mismas condiciones de tiempo de reposo de masa, aplanamiento, tiempo y temperatura de horneado. La cantidad de ingredientes fue constante para todas las formulaciones, excepto el nivel de harina sustituida de harina de trigo por harina de garbanzo, en el cual el porcentaje de harina trigo disminuye y el de harina de garbanzo aumenta. La Tabla 9 muestra el análisis de varianza del efecto del contenido de harina de garbanzo en los productos horneados.

Al analizar el contenido de humedad de los “crisps” (Tabla 9) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el porcentaje de humedad de todas las formulaciones que tienen harina de garbanzo contra el control. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad entre los productos horneados elaborados con harina de garbanzo, independientemente

del nivel de sustitución. Estudios de la capacidad de retención de agua (Kohajdova et al., 2011), reflejan que la harina de trigo (3.2 g H₂O/g harina) tiene menor capacidad de retención de agua que la harina de garbanzo (5.0 g H₂O/g harina). Esto quiere decir que la matriz de proteína del garbanzo tiene mayor capacidad de absorber o retener agua. Este factor puede ser la razón de que los “crisps” elaborados con harina de garbanzo tengan mayor porcentaje de humedad, que el control. Esta propiedad en la harina de garbanzo es beneficiosa para su incorporación en los productos panaderos, puesto que permite la adición de más agua, mejora el manejo y aumenta la frescura (Kohajdova et al., 2011).

El análisis de varianza de los valores de actividad de agua para las formulaciones (Tabla 9), refleja que se encontraron diferencias significativas referente a las todas formulaciones que contienen harina de garbanzo en comparación al control. El “crisp” con menor actividad de agua fue el control, mientras que la formulación 80:20 presentó mayor actividad de agua. No se observan diferencias significativas entre la formulación 80:20 y la formulación 70:30. Esta tendencia también se observó en productos tipo galleta realizados con harina de gandul y harina de maíz, donde a menor cantidad de harina de la leguminosa, menor es su actividad de agua (Bastardo et al., 2015). Los autores explican que a menor contenido de harina de gandul mayor es el porcentaje de almidón de maíz, y mayor es la capacidad de retener agua durante la cocción, disminuyendo su disponibilidad.

La actividad de agua proporciona información concerniente a la posibilidad de crecimiento microbiológico en la superficie de una muestra. Además, provee información acerca de la calidad de un producto (Sandulachi, 2012). Según los resultados de esta investigación se concluye que todos los productos elaborados y analizados ($A_w < 0.40$) quedan fuera del área de peligro para el ataque de hongos ($A_w > 0.80$) y bacterias ($A_w > 0.90$).

El análisis de varianza para el pH de los productos horneados se presenta en la Tabla 9. El análisis, revela que existen diferencias significativas entre el pH de las formulaciones que contienen harina de garbanzo contra el control. Las formulaciones no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí. Esta diferencia entre el control y las formulaciones podría asociarse a la materia prima (Bastardo et al., 2015). Los valores de pH (5.96-6.16) que presentan los productos se clasifican como alimentos de baja acidez o no ácidos (pH 5.0-6.8) (Marcelo, 1986).

La Tabla 9 muestra el análisis de varianza de la dureza entre los tratamientos. Se observan diferencias significativas entre las formulaciones 80:20 y 70:30 respecto al control. Mientras que no se encuentran diferencias significativas entre la formulación 90:10 y el control. La dureza en las formulaciones donde el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo es mayor, presentan valores de dureza superiores al control y a la formulación 90:10. La variable de dureza es un parámetro sensorial ya que el crujiente de los “crisps” interfiere en la preferencia del producto.

Tabla 9. Efecto del contenido de harina de garbanzo en los productos horneados

Formulación	Humedad*(%)	Aw	pH	Textura ^q
Control	6.11 ^a	0.33 ^a	5.96 ^a	6.71 ^a
F.90:10	6.71 ^b	0.36 ^b	6.09 ^b	7.80 ^a
F.80:20	7.00 ^b	0.40 ^c	6.16 ^b	14.57 ^b
F.70:30	6.71 ^b	0.39 ^c	6.16 ^b	13.41 ^b

Valores con diferente letra en la misma columna presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). * Resultado en base húmeda. ^q, dureza representada en gramos-fuerza.

La Tabla 10 muestra el análisis de varianza de las variables de Luminosidad (L), ángulo HUE (Tonalidad) y Cromaticidad (Saturación o intensidad) de los productos horneados. La Figura 15, muestra cómo se definen y ubican los parámetros de Luminosidad, tonalidad y saturación en un diagrama o cono de color. Donde la luminosidad representa el eje de “y”, la saturación el eje de “x” y la tonalidad es un ángulo. Definiendo los rangos de luminosidad de 0 a 100, donde 0 es negro y 100 es blanco; mientras que la saturación aumenta desde el centro hacia los extremos. El estudio muestra que existen diferencias significativas ($p < 0.05$), en el parámetro de la luminosidad en todos los productos de harina de garbanzo comparados con el control. Se deduce que el control es la formulación con mayor luminosidad, y que se acerca al color blanco; mientras que todas las formulaciones se alejan de manera negativa al control. La formulación 70:30, presentó el menor valor de L^* , por lo que los “crisps” poseen menor luminosidad, es decir son más opacos. Esto se puede deber, al efecto del color de la harina y a su vez, el nivel de sustitución en la formulación. Por lo que este parámetro es inversamente proporcional al contenido de garbanzo en los “crisps”.

Tabla 10. Efecto del contenido de harina de garbanzo en los productos horneados en Color

Formulación	Luminosidad (L^*)	Hue (Tonalidad)	Cromaticidad
Control	79.03 ^c	82.55 ^c	26.03 ^a
F.90:10	76.37 ^b	79.68 ^{a,b}	29.93 ^b
F.80:20	76.77 ^b	80.25 ^b	31.10 ^b
F.70:30	74.95 ^a	79.11 ^a	33.46 ^c

Valores con diferente letra en la misma columna presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Estos resultados concuerdan con estudios en la luminosidad de galletas dulces elaboradas de harina de gandul y harina de maíz, donde el valor de dicha variable, (L^*) disminuía según aumentaba el contenido de harina de gandul (Bastardo et al., 2015). En adición, los presentes resultados

coinciden con los análisis de las variables Ángulo HUE (tonalidad) y Cromaticidad (saturación o intensidad de color), discutidas más adelante.

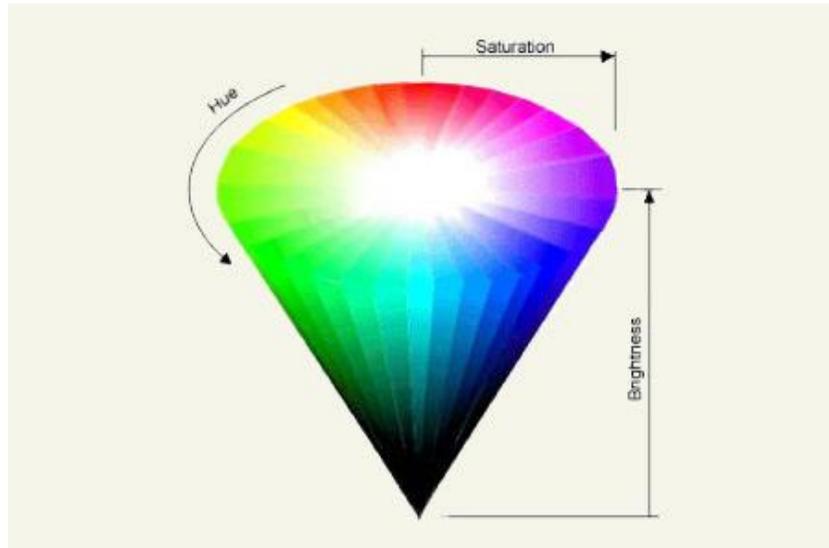


Figura 15. Diagrama de luminicidad, tonalidad y saturación de colores.

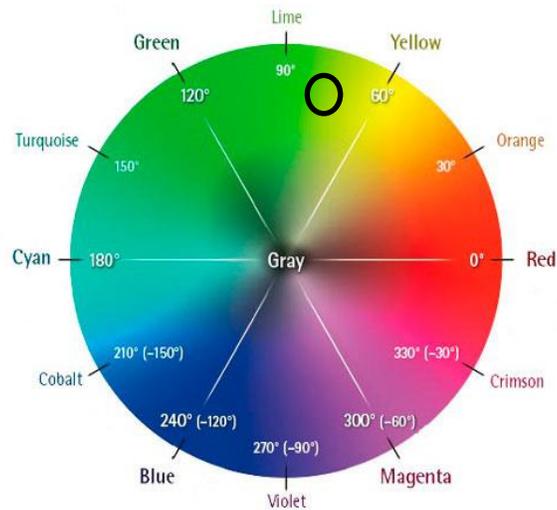


Figura 16. Ubicación de tonalidad de “crisps”.

El análisis de varianza para el Ángulo HUE (Tabla 10), o tonalidad de un color, refleja diferencias significativas en esta variable entre el control y todos los productos horneados de las formulaciones 90:10, 80:20 y 70:30. Existe mayor diferencia entre la tonalidad de la formulación 70:30 y el control. Se puede observar que cuando el nivel de sustitución de harina de garbanzo aumenta en el producto horneado, su tonalidad disminuye. El círculo en la Figura 16, muestra donde se ubica aproximadamente la tonalidad en grados de los “crisps” (79.11° - 82.55°).

Investigadores han explicado que un aumento en el contenido de humedad de un producto causa una reducción en el ángulo HUE y a su vez una disminución en los valores de la Luminosidad (L), lo que resulta en colores más oscuros (Osuna, Wall & Waddell, 1997). Estos resultados concuerdan al cotejar los valores de humedad, luminosidad y tonalidad en las formulaciones 70:30 y el control. Se puede deducir que la complementación de harina de garbanzo en los “crisps”, afecta la tonalidad de color del producto.

El análisis de varianza para la variable Cromaticidad, o saturación de un color se presenta en la Tabla 10. El estudio presenta diferencias significativas en la variable cromaticidad entre el control y los productos horneados de las formulaciones 90:10, 80:20 y 70:30. Comparado con el control, la saturación en la formulación 70:30 es mucho mayor. Como se puede observar en la Figura 16, los valores mayores en la cromaticidad se ubican en el exterior del cono, reflejando más intensidad de color. El control mostró una saturación de 26.03 mientras que la formulación con 30 % de harina de garbanzo reflejó 33.46, proyectando el efecto del contenido de harina de garbanzo en el producto horneado. Se observa un patrón de los valores de la cromaticidad, donde a menor contenido de harina de garbanzo, menor es la intensidad del producto. Estos resultados concuerdan con las observaciones visuales. Se puede concluir que existe una relación directamente proporcional entre nivel de sustitución de harina de garbanzo y su saturación. En otras palabras,

según aumenta el contenido de harina de garbanzo en el producto horneado, más intenso es su color. En síntesis, la adición de harina de garbanzo en el “crisps” afecta la cromaticidad de éste.

2. Largo de vida útil

El largo de vida útil se define como el tiempo en el cual el alimento se mantiene de calidad aceptable para el consumidor. Incluye cambios microbiológicos, químicos y físicos. Se estudiaron los factores intrínsecos de la humedad, actividad de agua, además del color y la textura.

a. HUMEDAD

La Tabla 11 muestra el análisis de varianza de la humedad de los “crisps” a través del tiempo. No se encontraron diferencias significativas en la humedad de los productos horneados del control y de la formulación 70:30 durante el tiempo de análisis. Sí se encontraron diferencias significativas en la humedad de la formulación 80:20 para el día 42 o la semana 6. Mientras que se encuentran diferencias significativas en la formulación 90:10 a lo largo del tiempo de observación. La humedad durante el tiempo de análisis se extiende hasta 8.09 % en el día 42 para la formulación 80:20. Generalmente se observa un aumento en humedad según el paso del tiempo de análisis. Cabe destacar que los “crisps” estuvieron empacados individualmente para cada formulación y para cada semana de análisis. Soroka (2009) refiere que para el “mouthfeel” y textura de calidad en un snack tipo galleta, el contenido de humedad debe ser de 3-7 %. En este caso podríamos limitar la calidad aceptable del “crisp” hasta los 28 y 35 días; puesto que en el día 42 los productos elaborados a base de garbanzo tienen valores mayores de 7.0 %. Hurtado et al., (2001) reportan porcentajes de humedad de 7.2 % a 7.5 % en productos fritos de tres (3) variedades de frijoles (*Pinto 114*, *Suave 85* y *Tórtola Inia*) y maíz en proporción 40:60 frijol:maíz. Los valores de la

actual investigación para todas las formulaciones y el control presentan porcentos de humedad menores de 7.5 % hasta la semana 6, excepto por las formulaciones 80:20 y 90:10.

Este aumento en humedad, como en la actividad de agua (discutida más adelante), durante el tiempo de almacenamiento, puede deberse a la permeabilidad empaque durante el tiempo de almacenamiento a la temperatura de salón. Soroka (2009) explica que los únicos empaques con barreras absolutas son de metal y el cristal. La permeabilidad de los materiales plásticos es relativa según las características de polaridad o no polaridad que predominen. El polietileno utilizado en esta investigación, en términos generales, aunque se considera no polar, no es completamente impermeable al agua.

Previendo esta limitación, las muestras fueron envueltas en papel de aluminio (material de menor permeabilidad al agua). No obstante, los sellos del papel de aluminio no eran herméticos y aparentemente permitieron el paso de humedad suficiente para ejercer cambios en el contenido de humedad (y actividad de agua) de las muestras.

Tabla 11. Análisis de Humedad (%b.h.)

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	5.46 ^a	5.63 ^a	6.59 ^a	5.94 ^a	6.10 ^a	6.30 ^a	6.49 ^a
F.90:10	5.98 ^a	6.15 ^{a,b}	6.51 ^{a,b,c}	6.63 ^{a,b,c}	7.26 ^{b,c}	6.91 ^{a,b,c}	7.67 ^c
F.80:20	6.40 ^a	6.74 ^a	7.48 ^{a,b}	7.02 ^{a,b}	7.04 ^{a,b}	6.50 ^a	8.09 ^b
F.70:30	5.77 ^a	6.83 ^a	6.32 ^a	6.84 ^a	7.10 ^a	6.73 ^a	7.22 ^a

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). b.h., representa base húmeda.

b. ACTIVIDAD DE AGUA

La Tabla 12 muestra el análisis de varianza de la actividad de agua de los “crisps” a través del tiempo de almacenamiento. Se observan cambios significativos, en las F. 70:30, F. 80:20, F. 90:10 y el control, en el cual la actividad de agua aumenta a través del tiempo. Se observó una tendencia de aumento en la actividad de agua, en todas las formulaciones, donde presentan un punto máximo en el día 28, una reducción en el día 35 y un aumento nuevamente, en el día 42. Esta variación puede indicar que el producto presenta mayor estabilidad hasta el día 28. En el tiempo de análisis todos los productos reflejaron valores de actividad de agua entre 0.27 a 0.45, lo que no representa peligro para el crecimiento de bacterias, levaduras u hongos filamentosos. Los valores de actividad de agua para todos los productos realizados en esta investigación durante el tiempo de almacenamiento son menores que los reportados por Hurtado et al., (2001). Los productos fritos envasados en bolsas de polipropileno transparente y analizados luego de la producción reflejan valores de 0.58 a 0.61. La elaboración se realizó con tres (3) variedades de frijoles (*Pinto 114*, *Suave 85* y *Tórtola Inia*) y maíz en proporción 40:60 frijol:maíz.

Tabla 12. Análisis de Actividad de agua

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	0.27 ^a	0.28 ^{a,b}	0.33 ^{b,c}	0.32 ^{b,c}	0.36 ^{c,d}	0.36 ^{c,d}	0.39 ^d
F.90:10	0.32 ^{a,b}	0.29 ^a	0.32 ^{a,b}	0.36 ^{b,c}	0.42 ^c	0.40 ^c	0.40 ^c
F.80:20	0.39 ^{a,b}	0.35 ^a	0.40 ^{a,b}	0.39 ^{a,b}	0.42 ^{a,b}	0.39 ^{a,b}	0.44 ^b
F.70:30	0.32 ^a	0.35 ^{a,b}	0.36 ^{a,b}	0.38 ^{b,c}	0.45 ^d	0.42 ^{c,d}	0.43 ^d

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

c. pH

La Tabla 13 muestra el análisis de varianza del pH a través del tiempo de observación de los productos. Los resultados revelan que no se encuentran diferencias significativas del pH a través del tiempo en los productos horneados de todas las formulaciones. Las medidas de pH se mantienen en el rango de 5.82 a 6.28.

Tabla 13. Análisis de pH

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	5.82 ^a	5.93 ^a	5.98 ^a	6.00 ^a	6.02 ^a	6.02 ^a	5.94 ^a
F.90:10	6.05 ^a	6.05 ^a	6.18 ^a	6.07 ^a	6.12 ^a	6.10 ^a	6.06 ^a
F.80:20	6.07 ^a	6.16 ^a	6.28 ^a	6.17 ^a	6.14 ^a	6.14 ^a	6.15 ^a
F.70:30	6.12 ^a	6.11 ^a	6.20 ^a	6.18 ^a	6.17 ^a	6.18 ^a	6.16 ^a

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

d. TEXTURA

Para determinar la textura se apilaron 3 “crisps” y se midió la dureza en un Texturómetro TA.XT2. La Tabla 14 muestra los resultados del análisis de varianza de la dureza de los “crisps”. No se observan cambios significativos ($p < 0.05$), en la textura de los “crisps” a lo largo de las 6 semanas, de las formulaciones a base de garbanzo, 70:30, 80:20, 90:10, en comparación con el control. Se observa que la fuerza necesaria para comprimir la muestra (estiba de 3 “crisps”) es menor en el control y la formulación 90:10 que en las formulaciones 80:20 y 70:30. Esto puede deberse al nivel de sustitución de harina de garbanzo en estos productos.

Es necesario reseñar que las muestras analizadas estaban empacadas individualmente por formulación y semana de análisis. Los “crisps” estaban empacados en papel de aluminio para contener, proteger y preservar los mismos. El empaque secundario consistía de una bolsa de polietileno de doble sello para evitar el intercambio de gases (vapor de agua), absorción de la humedad del ambiente y proteger de daños físicos y plagas. Este factor de empaque es importante en la elaboración de un producto nuevo, puesto que un snack, como el desarrollado en esta investigación, pierde calidad cuando gana humedad y deteriora el producto. Por estas razones se establece esta barrera en el empaque. En conclusión, el factor tiempo no afectó el parámetro de la textura en los “crisps”.

Tabla 14. Análisis dureza (gramos-fuerza)

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	7.20 ^a	6.27 ^a	6.17 ^a	6.67 ^a	7.25 ^a	6.34 ^a	7.06 ^a
F.90:10	10.38 ^a	5.80 ^a	5.93 ^a	6.58 ^a	10.03 ^a	9.39 ^a	6.50 ^a
F.80:20	14.41 ^a	13.50 ^a	17.44 ^a	14.42 ^a	13.32 ^a	13.40 ^a	15.51 ^a
F.70:30	11.13 ^a	15.92 ^a	10.52 ^a	10.03 ^a	13.58 ^a	14.98 ^a	17.68 ^a

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

e. COLOR

i. LUMINOSIDAD

La Tabla 15 muestra el análisis de varianza del parámetro de la luminosidad a través del tiempo. Se observa que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en la luminosidad de los “crisps” durante el tiempo de observación en todas formulaciones y el control. Estos resultados muestran que durante el tiempo de almacenamiento de los productos horneados su luminosidad no se afectó.

Por lo que, en cuanto a este factor, los “crisps” podrían conservar su color en el empaque utilizado en esta investigación hasta por 42 días.

Tabla 15. Análisis de Luminosidad (L)

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	78.27 ^a	78.92 ^a	77.93 ^a	78.96 ^a	79.57 ^a	79.69 ^a	79.85 ^a
F.90:10	75.67 ^a	77.39 ^a	76.62 ^a	77.19 ^a	75.85 ^a	75.93 ^a	75.93 ^a
F.80:20	74.90 ^a	76.88 ^a	77.76 ^a	77.21 ^a	76.22 ^a	77.30 ^a	77.12 ^a
F.70:30	76.17 ^a	73.50 ^a	74.39 ^a	74.62 ^a	74.80 ^a	75.96 ^a	75.18 ^a

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

ii. Ángulo HUE o Tonalidad

El valor de la tonalidad se calculó mediante la ecuación $\tan^{-1}(b/a)$. Durante el análisis (Apéndice 3), se observa que la intensidad del rojo (a^*) y del amarillo (b^*) aumentan, según aumenta el contenido de harina de garbanzo en los productos horneado. La Tabla 16 presenta los resultados del análisis de varianza de la tonalidad (Ángulo HUE) de los “crisps”, a través del tiempo. La tonalidad de los “crisps” no cambió significativamente ($p < 0.05$) durante el tiempo de almacenamiento en las formulaciones 80:20, 90:10 tanto como en el control. Sí se observan diferencias significativas en la tonalidad en la formulación 70:30 en el día 0, para luego normalizarse. Esto puede deberse a que el valor de a^* es menor esta primera semana de análisis. La tonalidad de los “crisps” fluctúa entre 76.91° a 83.69° y se ubica en la región entre el amarillo y el color lima (Figura 17). En términos generales, la tonalidad de todos los “crisps” no varía durante las 6 semanas de observación.

Tabla 16. Análisis de tonalidad (°)

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	81.97 ^a	82.54 ^a	81.39 ^a	82.54 ^a	83.11 ^a	83.69 ^a	83.11 ^a
F.90:10	79.67 ^a	79.67 ^a	80.82 ^a	80.82 ^a	79.10 ^a	78.53 ^a	80.25 ^a
F.80:20	78.53 ^a	80.82 ^a	81.39 ^a	81.39 ^a	79.10 ^a	81.39 ^a	80.25 ^a
F.70:30	80.82 ^b	76.81 ^a	78.53 ^{a,b}	79.10 ^{a,b}	78.53 ^{a,b}	80.25 ^{a,b}	78.53 ^{a,b}

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

iii. CROMATICIDAD o Saturación

La cromaticidad se calculó mediante ecuación $[a^2+b^2]^{1/2}$. La Tabla 17 muestra los resultados del análisis de varianza de la cromaticidad en los “crisps” a través del tiempo de observación. Durante este tiempo (42 días), no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la saturación de los “crisps” elaborados a base de garbanzo o en el control. Se observa una pequeña inestabilidad en la intensidad de los “crisps” del control, la F.90:10 y la F.80:20, luego el día 28 de análisis, que puede denominar un punto en el largo de vida útil del producto. A pesar de esta inestabilidad, la intensidad del “crisp” no varía durante el tiempo de almacenamiento.

Tabla 17. Análisis de Cromaticidad

Formulación	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
Control	26.71 ^a	26.68 ^a	26.72 ^a	26.39 ^a	26.10 ^a	24.18 ^a	25.42 ^a
F.90:10	30.06 ^a	29.32 ^a	29.76 ^a	29.92 ^a	30.36 ^a	29.93 ^a	30.17 ^a
F.80:20	32.14 ^a	30.82 ^a	30.29 ^a	31.04 ^a	33.07 ^a	30.04 ^a	30.28 ^a
F.70:30	32.97 ^a	32.88 ^a	33.98 ^a	33.51 ^a	33.53 ^a	33.37 ^a	33.31 ^a

Valores con diferente letra en la misma fila presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

D. Análisis Sensorial de los “Crisps”

Se realizó una evaluación sensorial para los crisps fue realizada con tres productos elaborados con 100 % harina de trigo (control), harina de garbanzo crudo (sin tratar) al 30 % y harina de garbanzo germinado al 30 %. Ghavidel & Prakash (2006) presentan que la germinación disminuye el contenido de taninos en un 17 %, aumenta la digestibilidad de proteínas *in vitro* a 73.4 %, aumenta el contenido de fibra soluble a 2.41 g/100 g, y aumenta la biodisponibilidad de hierro a 18.6 % y calcio a 32.9 %.

Se utilizó una prueba de ordenamiento, donde 45 panelistas no adiestrados, evaluaron el atributo de preferencia. Según el análisis de Friedman y Tukey, (Apéndice 6), la preferencia entre el “crisp” control (100 % harina de trigo) y el “crisp” con harina de garbanzo germinado no fue diferente. Tampoco hubo diferencia entre la preferencia del “crisp” de harina de garbanzo germinado y el “crisp” de harina de garbanzo sin tratar. Sin embargo, hubo una diferencia entre el “crisp” control y el “crisp” con harina de garbanzo sin tratar. En estudios realizados por Ouazib et al., (2016) se elaboraron y compararon panes con 4 harinas de garbanzo distintas, entre ellas el crudo, germinado, tostados y cocido. En el análisis sensorial la evaluación del sabor reveló que el pan con harina de garbanzo cocido fue preferido, seguido del tostado, el garbanzo sin tratar y el germinado, siendo éste el de menor aceptabilidad en general.

Se puede concluir que el “crisp” elaborado con harina de garbanzo sin tratar, tuvo mayor preferencia entre los productos presentados a los panelistas. Los comentarios de los panelistas, a la presente investigación, relacionados a los “crisps” elaborados con harina de garbanzo (con y sin tratar) fueron cónsonas en que los mismos tenían buen sabor, estaban muy ricos y el “after taste” fue muy agradable. También se comentó que necesitaban sal y que el control sabía mucho a trigo.

CONCLUSIONES

1. Ninguno de los tratamientos evaluados mostró evidencia de reducción del ácido fítico en garbanzos. Sin embargo, tratamientos asociados a la fermentación y al remojo alcalino mostraron reducción significativa del contenido de ácido fítico en el garbanzo. Esto se concluye al comparar el cambio a las 0 horas de tratamiento contra el contenido del factor anti-nutricional en el garbanzo crudo. Específicamente, el proceso de molienda y dilución de la harina previo a la fermentación produjo una reducción de 82.7 %. También, el proceso de cocción utilizado durante el tratamiento de remojo alcalino favoreció la reducción del ácido fítico en 45.7 %.
2. No se observan diferencias significativas en el contenido ácido fítico entre los productos horneados con harina de garbanzo tratada por germinación y el elaborado con harina de garbanzo no tratada.
3. El nivel de sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo afecta las propiedades químicas, aumentando A_w , humedad y pH; mientras que, en las propiedades físicas, aumenta la textura y saturación, y disminuye la luminosidad y tonalidad de los productos horneados.
4. El “crisp” elaborado con harina de garbanzo sin tratar, tuvo mayor preferencia que el producto elaborado completamente con harina de trigo (control). Sin embargo, no hubo diferencia entre la preferencia del “crisp” con harina de garbanzo germinado y el “crisp” control, ni entre el “crisp” con harina de garbanzo germinado y el “crisp” de harina de garbanzo sin tratar.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar el efecto de la molienda del garbanzo y remojo de la harina en el contenido de ácido fítico.
2. Estudiar el ácido fítico en el medio (agua) de fermentación.
3. Estudiar las condiciones óptimas: tiempo, temperatura, ventilación e iluminación para la germinación del garbanzo kabuli.
4. Estudiar las condiciones óptimas: concentración del bicarbonato, tiempo de remojo, tiempo de cocción del garbanzo para la reducción del ácido fítico.
5. Hacer análisis proximal, composición de aminoácidos y biodisponibilidad de minerales a los garbanzos tratados.
6. Explorar empaque que evite el aumento de humedad durante el tiempo de almacenamiento.

Bibliografía

- AACC (1961) American Association of Cereal Chemists
Agriculture & Agri- Food Canada (2006) Chickpeas: Situation and outlook. *Bi-weekly Bulletin* 19, 13.
- Alajaji, S. A., El-Adawy, T. A., (2006) Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 806-812.
- Arêas, J. A. G., (1992) Extrusion of food proteins. *Crit. Rev. Food Science and Nutrition* 32 (4), 365-392.
- Bishnoi, S., & Khetarpaul, N., (1994) Protein digestibility of vegetables and field peas (*Pisum sativum*). Varietal differences and effects of domestic processing and cooking methods. *Plants Foods for human Nutrition* 46 (1), 71-76.
- Bressani, R., (2002) Factors influencing nutritive value in food grain legumes: Mucuna compared to other grain legumes. En: Food and feed from Mucuna: Current user and the way forward. *Proceedings of an International Workshop*, 164-188.
- Cabrejas, M. M., Aguilera, Y., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S., Esteban, R., (2009) The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry* 114, 1063–1068
- Candido, L. M. B., & Campos, A. M., (1995) Functional Foods: A Review. *Bol Soc. Bras. Cienc. Tecnol. Aliment.* 29 (2), 193- 203.
- Cardoso, S. R. A., & Arêas, J. A. G., (2001). Nutritional evaluation of snacks obtained from chickpea and bovine lung blends. *Food Chemistry*, 74, 35–40.
- Cardoso, S. R. A., Moreira A, R. S. R., Pinto, S. M. E. M. & Arêas, J. A. G., (2001). The potential of extruded chickpea, corn and bovine lung formal nutrition programs. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2, 203– 209.
- Carey, J. M., Harry M. J. M., Slade, L., Dzurenko, T. E., McHugh, K., Zimmerman, E. L., (1996) Production of crispy wheat- based snacks having surface bubbles. United States Patent, Patent Number 5747092.
- Champ, M., (2002) Non-nutrient bioactive substances of pulses. *British Journal of Nutrition* 88, Supple. 3, 307-319.
- Chang, R., Schwimmer, S., Burr, H. K., (1977). Phytate: removal from whole dry beans by enzymatic hydrolysis and diffusion. *Journal of Food Science* 42, 1098-1101.
- Chibbar, R. N., Ambigaipalan, P., & Hoover, R., (2010) Molecular Diversity in Pulse Seed Starch and Complex Carbohydrates and Its Role in Human Nutrition and Health *Cereal Chem.* 87(4):342–352.

Chitra, U., Singh, U., & Venkateswara, P., (1996) Phytic acid, invitro protein digestibility, dietary fiber and minerals of pulses as influenced by processing methods. *Plant Foods for Human Nutrition* 49, 307-316.

Cosgrove, D. J., (1980) Inositol Phosphates: Their Chemistry, Biochemistry and Physiology. *Nueva York: Elsevier Scientific Publishing Company*.

Cummings, J. H., and Stephen, A. M., (2007). Carbohydrate terminology and classification. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61:S5-S18.

Desai, B. L. M., Daniel, V. A., Rao, V. S., Swaminathan, M., & Parpia, H. A. B., (1970) Studies on low cost balanced foods suitable for feeding weaned infants in developing countries II. Supplementary value of low cost balanced foods based on cereals, cotton seed or peanut flour and Bengal gram flour to poor Indian diets. *Indian Journal of Nutrition and Dietetics* 7, 21- 26.

Desphande, S., & Cheryan, M., (1983) Changes in the phytic acid, tannins, and trypsin inhibitor activity on soaking of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nutr. Rep. Int.* 27, 371- 377.

El-Adawy, T., (2002) Nutritional composition and anti-nutritional factors of chickpeas undergoing different cooking methods and germination. *Plant Food for Human Nutrition* 57, 83-97.

Englyst, K. N., Liu, S., and Englyst, H. N., (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61:S19-S39.

FAO. (2003). Food energy—Methods of analysis and conversion factors. Report of a technical workshop. Food and Nutrition Paper 77. FAO: Rome.

FAOSTAT (2016) <http://faostat.fao.org/>

Faridi, H. A., Finney, P. L., Rubenthaler, G.I., (1983) Iranian flatbreads: Relative bioavailability of zinc. *Journal of Food Science* 48, 107-110.

Farnworth, E. R., (2003) Handbook of Fermented Functional Foods. *Functional Foods and Nutraceutical Series CRC Press* p. 306-333.

Febles, Acosta, C. I., (1998) Estudio del contenido de fitatos en derivados de cereales de consumo en Canarias. Tesis Doctoral Universidad de la Laguna 1-190.

Frías, J., Doblado, R., Antezana, J., Vidal, C., (2003) Inositol phosphate degradation by the action of phytase enzyme in legume seeds *Food Chemistry* 81, 233-239

Frías, J., Vidal, C., Kozłowska, H., Tabera, J., Honke, J., & Hedley, C., (1996) Natural fermentation of lentils. Influence of time, flour concentration and temperature in the kinetic of monosaccharides, disaccharides and α galactosides. *J. Agriculture and Food Chemistry* 44, 579-584.

Frossard, E., Bucher, M., Machler F., Mozafar, A., Hurrell, R. (2000) Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn & Ca in plants for human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80 (7) 861-879.

Geervani, P., (1991) Utilization of chickpea in India and scope for novel and alternative uses. *In Proceedings of a Consultants Meeting*, pp. 47-54. A P, India: ICRISAT.

Gil, J., Nadal, S., Luna, D., Moreno, M. T., Haro, A. D., (1996) Variability of some physico- chemical characters in desi and kabuli chickpea types. *Journal of Science and Food Agriculture* 71, 179-184.

Graf, E., (1986) Phytic Acid. *Minneapolis MN: Pilatus Press*.

Granito, M., Champ, M., Guerra, M., & Frías, J., (2003) Effect of natural and controlled fermentation on flatus producing compounds of beans *Phaseolus vulgaris*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 1004-1009.

Granito, M., Frías, J., Doblado, R., Guerra, M., Champ, M., Vidal, C., (2002) Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. *Eur Food Research and Technology* 214, 226-231.

Granito, M., Torres, A., Frías, J., Doblado, R., Guerra, Vidal, C., (2004) Influence of fermentation on the nutritional value of two varieties of *Vigna sinensis*. *Eur Food Research and Technology* 220, 176-181.

Granito, M., Valero, Y., Zambrano, R., (2010) Desarrollo de productos horneados a base de legumbres fermentadas y cereales destunados a la merienda escolar. *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 60, 85-92.

Han, J., Janz, A. M. J., Gerlat, M., (2010) Development of gluten free crackers snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International* 43, 627- 633.

Haug, W., Lantzsch, H. J., (1983) Methods for determination of phytate of cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34, 1423-1426.

Hawkins, A., & Johnson, S. K., (2005) In vitro carbohydrate digestibility of whole-chickpea and chickpea bread products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56(3), 147-155.

Hemalatha, S., Platel, K., Srinivasan, K., (2007) Influence of germination and fermentation on bio-accessibility of zinc and iron from food grains. *European Journal of Clinical Nutrition* 61, 342-348.

Hernández, M., & Sotelo, A., (1984) Nutritional evaluation of wheat flour cookies supplemented with chickpea, cheese whey and amino acids. *Nutrition Reports International* 29(4), 845-858.

Holt, S., Brand, J., Soveny, C., et al. (1992) Relationship of satiety to postprandial glycaemic, insulin and cholecystokinin responses. *Appetite* 18, 129-41.

Hurtado, M. L., Escobar, B. A., & Estevez, A. M. A., (2001) Mezclas legumbre/ cereal por fritura profunda de maíz Amarillo y de tres cultivares de frijol para consume “snack”. *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 51. 303- 308.

Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N., et al. (2006) Nutritional quality of important food legumes. *Food Chem* 97, 331-335.

Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Jenkins, A. L., Thornev, M. J., Lee, R., Kalmusky, J., Reichert & Wong G S (1983) The glycaemic index of food tested in diabetic patients. A new basis for carbohydrate exchange favouring the use of legumes. *Diabetología* 24, 257–264.

Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H. M., Fielden, H., & Jenkins, A. L. (1981) Effect of guar crisp bread with cereal products and leguminous seeds on blood glucose concentrations of diabetics. *British Medical Journal* 281, 1248–1250.

Khattak, A. B., Khattak, G. S. S., Mahmood, Z., Bibi, N., Ihsanullah, I., (2006) Study of selected quality and agronomic characteristics and their interrelationship in kabuli- type chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Food Science and Technology* 2, 1-5.

Khattak, A. B., Zeb A., Bibi, N., (2008) Impact of germination time and type of illumination on carotenoid content, protein solubility and in vitro protein digestibility of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. *Food Chemistry* 1009, 797-801

Khattak, A. B., Zeb A., Bibi, N., Khalil, S. A., Khattak, M. S., (2007) Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea sprouts. *Food Chemistry* 104, 1074-1079.

Kohajdová, Z., Karovicova, J., & Magala, M., (2011) Utilization of chickpea flour for crackers produccion. *Acta Chimica Slovaca* 4(2), 98-107.

Kozłowska, H., Honke, J., Sadawska J., Frías, J., Vidal, C., (1996) *Journal of Food Science and Agriculture* 71, 367-375.

Leeds, A. R. (2002) Glycemic index and heart disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 76, S286- S289.

Liendo, B, M., Silva, C, M., (2015) Producto tipo galleta elaborado con mezcla de harina de quinchoncho y almidón de maíz. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela* 27, 78-86.

Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jager, R., Hlebeina T., Markolin, G., & Gossler, W. (1997) Uptake of various trace elements during germination of wheat buckwheat and quinoa. *Plant Food for Human Nutrition* 50, 223-237.

Lott, J. N. A., Ockenden, I., (1986) The fine structure of phytate-rich particles in plants. *En: Phytic Acid: Chemistry and Applications (Graf E, ed.)*, 43-55. Minneapolis, MN: Pilatus Press.

Mahajan, S., Chaudan, B. M., (1988) Effect of nul fermentation on the extractability of minerals from pearl milled flour. *Journal of Food Science* 53, 1576-1577.

Marcelo, G., (1986) Enriquecimiento de pn con un concentrado proteico a base de plasma de sangre vacuno. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Martínez, F., López, M., Zazueta, J., Morales, E., (2005) Preparación y propiedades de almidones pre-gelatinizados de yuca y jicama usando calentamiento óhmico *Agrociencia* 39, 275-283.

Martínez, B., Ibáñez, M^a Victoria., Rincón, F., (2002) Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52(3), 219- 231

Martínez, C., Ros, G., Periago, M. J., López, G., Ortuño, J., Rincón, F., (1996) *Food Science and Technology International* 2, 201-209.

McCance, R. A., & Lawrence, R. D. (1929). The carbohydrate content of foods. MRC Special Report. HMSO: London.

Monteiro, C. A., Bertazzi L. R., Moreira C. R., Ribeiro de C. I. R., Cannon, G., (2010) Increasing consumption of ultra- processed foods and likely impact on human health: evidence from Brazil. *Public Health Nutrition* 14, 5-13.

Nestares, T., Barrionuevo, M., Urbano, G., Lopez-Frías, M., (1999) Effect of processing methods on the calcium, phosphorous, and phytic acid contents and nutritive utilization of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Agric. Food Chem* 47,2807-2812.

Nwokolo, E., & Smartt, J. (1996) Food and feed from legumes and oilseeds *Chapman & Hall publishing* 82, 4-5.

Oatway, L., Vasanthan, T., Helm, J., (2001) PHYTIC ACID *Food Reviews International* 17(4), 419-431.

Osuna, J.A., Wall, M.M., Waddell, C.A., (1997) Natural antioxidants for preventing color loss in stored Paprika. *Journal of Food Science* 62, 1017-1021.

Özer, S., Karaköy, T, Toklu, F, et al. (2010) Nutritional and physicochemical variation in Turkish kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces. *Euphytica* 175, 237-249.

Paredes-Lopez, O., Cárabez-Trejo, A. M., Palma- Tirado, L., Reyes- Moreno, C. (1991) Influence of hardening procedure and soaking solution on cooking quality of common beans. *Plant foods for Human Nutrition* 41, 155-164.

Pittaway, J. K., Robertson I. K., Ball, M. J., (2008) Chickpeas may influence fatty acid and fiber intake in an Ad Libitum diet, leading to small improvements in serum lipid profile and glycemic control. *Journal of the American Dietetic Association* 108, 1009-1013.

Prattley, C. A., & Stanley, D. W., (1982) Protein-phytate interaction in soybeans. I. Localization of phytate in protein bodies and globoids *Journal of Food Biochemistry* 6 Issue 4, 243-254.

Queiroz, V.A.V., Guimarães, P. E. O., Queiroz, L. R., Guedes, E. O., Vasconcelos, V. D. B., Guimarães, L. J., Ribeiro, P. E. A., Schaffert, R. E., (2001) Iron and zinc availability in maize lines. *Ciênc. Tecnol. Aliment* 31 (3), 577-583.

Quinteros, A., Sebastian, V., Barbera, R., Farre, R., & Lagarda, M. J., (1999) Effect of legume processing on phytate and oxalate contents and their possible relation to calcium and iron dialysability. *In Proceedings of the International Congress 'Improved traditional foods for the next century*. 246–249.

Rebello, C., Greenway, F., & Finley, J., (2014) Whole Grains and Pulses: A Comparison of the Nutritional and Health Benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 7029-7049.

Reddy, N. R., Salunkhe D. K., (1980) Effects of fermentation on phytate phosphorus and mineral content in blackgram rice, and blackgram and rice blends. *Journal of Food Science* 45, 1708-1712.

Reddy, N. R., Sathé, S. K., Salunkhe, D. K., (1982) Phytates in legumes and cereals. *Adv Food Res* 28, 1-92.

Reddy, R., Balakrishnan, C. V., Salunkhe, D. K., (1978) Phytate phosphorous and mineral changes during germination and cooking of black gram (*Phaseolus mungo*) seeds. *J. Food Science* 43, 540-543.

Reyes-Moreno, C., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milan-Carrillo, J., Cardenas-Valenzuela, O. G., Barrón-Hoyos, J., (2004) Solid state fermentation process for producing chickpea (*Cicer arietinum* L) tempeh flour. Physicochemical and nutritional characteristics of the product. *J. Sci Food Agric* 84, 271-278.

Rizkalla, S. W., Bellisle, F., & Slama, G., (2002) Health benefits of low glycaemic index foods, such as pulses, in diabetic patients and healthy individuals. *British Journal of Nutrition* 88, S255- S262.

Roy, F., Boye, J. I., Simpson B. K., (2010) Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Peas, chickpeas and lentil. *Food Research International* 43, 432-442.

Sandberg, A. S., Brune, M., Carlsson N. G., Hallberg, L., Skoglund, E., Rossander- Hulthn, L., (1999) Inositol phosphates with different numbers of phosphates groups influence iron absorption in humans. *Am J. Clin Nutr.* 70 (2), 240-246.

Sandulachi E., (2012) Water activity concept and its role in food preservation. Technical University of Moldova 40-48.

Sangronis, E., Machado, C. J., (2007) Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT* 40, 116–120.

Savage, G. P., & Deo, S., (1989) The nutritional value of peas (*Pisum sativum*). A literature review. *Nutrition Abstracts and Reviews* (Series A) 59, 66-83.

Scott, J. J., (1991) Alkaline phytase activity in nonionic detergent extracts of legume seeds. *Plant Physiology* 95, 1298-1301.

Shah, S., Zeb, A., Masod, T., Noreen, N., Abbas, S., Samiullah M., Alim, Md., Muhammad, A., (2011) Effect of sprouting time on biochemical and nutritional qualities of Mungbean varieties. *African Journal of Agricultural Research* 6 (22), 5091-5098.

Shehata, N. A., & Fryer, B. A., (1970) Effect of protein quality of supplementing wheat flour with chickpea flour. *Cereal Chemistry* 47 (6), 663-670.

Shimelis, E. A., Rakshit, S. K., (2007) Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry* 103, 161–172.

Shirani, G., Ganesharaneeb, R., (2009) Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenumquic-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering* 90, 44– 52.

Shukla, T., (1994) Future snacks and snack food technology. *Cereal Foods World* 39 (9), 704- 715.

Tettweiler, P., (1991) Snacks foods worldwide. *Food Technology* 45 (2), 58-62.

Tharanathan, R. N., & Mahadevamma, S., (2003) Grain Legumes- a boon to human nutrition. *Trends Food Science and Technology* 14, 507-518.

Thompson, L.U., (1993) Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. *Food Res Int* 26, 131-149

Thorne, M. J., Thompson, L. U., & Jenkins, D. J. A. (1983) Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *American Journal of Clinical Nutrition* 38, 481–488.

Torres, A., Frías, J., Granito, M., Vidal, C., (2006) Fermented pigeon pea (*Cajanus cajan*) ingredients in pasta products. *J Agric. Food Chem.* 54: 6685-6691.

United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, 2012. USDA National nutrient database for Standard Reference 26. Nutrient Data Laboratory Home Page, <http://ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>.

Vadivel, V., & Pugalenti, M., (2008) Effect of various processing methods on the levels of antinutritional constituents and protein digestibility of *Mucuna pruriens* (L) dc. Var. *Utilis* (Wall. ex Wight) Baker ex Burck (velvet bean) seeds. *Journal of Food Biochemistry* 32, 795-812

Van Rheenen, H. A., (1991) Production Aspects and Prospects of chickpea. *In Proceedings of a Consultants Meeting*, pp. 47-54. A P, India: ICRISAT.

Vidal, C., Frías, J., Estrella, I., Gorospe, M. J., Ruiz, R., Bacon, J., (1994) Effect of processing on some antinutritional factor of lentils. *J. Agric Food Chem* 42, 2291-2295.

Vijayaraghavan, K., (1981). Pulses—nutritional considerations, grain legumes: agronomy & crop improvement—processing & storage; marketing and nutrition. *In Proceedings of the Workshop*

Wang, X., Gao, W., Zhang, J., et al. (2010) Subunit, amino acid composition and in vitro digestibility of protein isolates from Chinese kabuli and desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Res Internl* 43, 567-572.

Willet, W., Manson, J., Liu, S. (2002) Glycemic index, glycemic load and risk of type 2 diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition* 76, S274- S280.

Wong, J. M. W. & Jenkins, D. J. A. (2007) Carbohydrate digestibility and metabolic effects. *J. Nutr.* 137, 2539S- 2546S.

Wood, J. A., Knights E. J., and Choct M. (2011) MORPHOLOGY of chickpea seeds (*CICER ARIETINUM* L.): Comparison of desi and kabuli types. *Int. J. Plant Sci.* 172(5):632–643.

Xu, Y; Cartier, A., Obielodan, M., Jorda, K., Hairston, T., Shannon, A., Sismour, E., (2016) Nutritional and anti-nutritional composition, and in vitro protein digestibility of kabuli chickpea as affected by differential processing methods *Food Measure.*

Yadav, S. S., Redden, R. J., Chen, W., Shar, B., (2006) Chickpea and breeding and management.

Yust, M. M., Pedroche, J., Giron- Calle, J., Alaiz, M., Millan, F., & Vioque, J. (2003). Production of ace inhibitory peptides by digestion of chickpeas legumin with alcalase. *Journal of Food Chemistry* 81, 363-369.

Zia-Ul-Haq, M., Iqbal S, Ahmad S, et al. (2007) Nutritional and compositional study of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. *Food Chem* 105, 1357-1363.

APÉNDICES

1. Tratamientos en garbanzos para determinar el Ácido Fítico

Las Figuras 17 representan las muestras del proceso de fermentación (a), remojo alcalino (b) y germinación (c). Las Figuras 18 (a), (b) muestran el procedimiento de secado de las semillas de garbanzo tras el tratamiento de germinación y remojo alcalino.

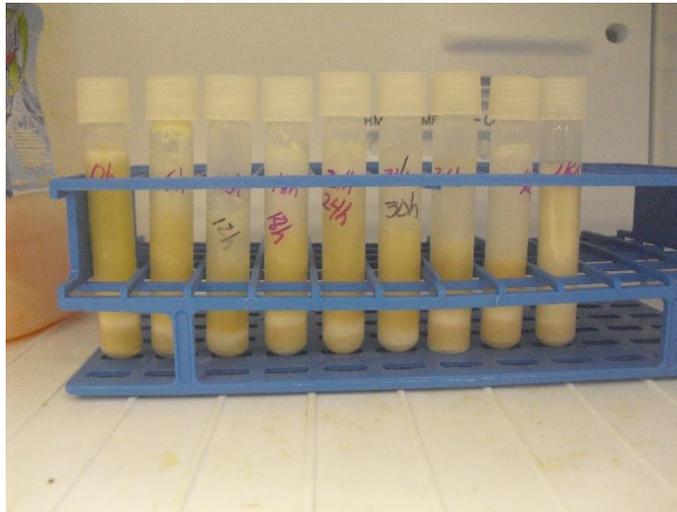


Figura 17 (a). Muestras de harina de garbanzo fermentada en distintas horas de muestreo.



Figura 17 (b) Garbanzos remojados en solución alcalina 0.75%.



Figura 17 (c) Germinados de garbanzos a las 48 horas.



Las Figuras 18 (a) y (b). Muestran el proceso de secado de las semillas aplicado tras el tratamiento de remojo alcalino y germinación.

2. Formulaciones adicionales

Se desarrollaron las siguientes formulaciones de harían de trigo:harina de garbanzo, 50:50 y 60:40. Las mismas se almacenaron por 4 semanas bajo las mismas condiciones de las formulaciones analizadas. A éstas se les observó cada semana para determinar cambios obvios en las características sensoriales de olor sabor, firmeza, y estabilidad en la galleta. Las observaciones semanales se encuentran en la Tabla 22. Para estas, se utilizó la mitad de la cantidad de ingredientes para la elaboración de los productos. Durante el muestreo, se encontraron “crisps” quebrados en la segunda semana y el sabor a sal fue señalado en varias ocasiones por los observadores. La formulación 60:40 parece ser menos crujiente y con textura más débil que la formulación 50:50.

Tabla 18. Observaciones en formulaciones adicionales de productos nuevos

Formulación 50:50
S.0. Olor a arepa asada. Buen sabor. No se detecta sabor a garbanzo. Bien crujientes
S.1. Buen sabor. Algo saladas. Aún están crujientes
S.2. Crujientes, aunque se observan “crisps” quebrados
S.3. Buen olor y sabor. Crujientes. Se observan “crisps” quebrados
S.4. Buen olor y sabor. Crujientes. Se observan “crisps” quebrados
Formulación 60:40
S.0. Buen sabor. No se detecta sabor a garbanzo. Saladas. No tan crujientes como las 50:50
S.1. No crujiente. Apetecible a la vista
S.2. No crujiente. Sabor regular. Resecas. Hay “crisps” quebrados
S.3. Buen sabor. No Crujientes. Se observan “crisps” quebrados
S.4. Buen sabor. No Crujientes. Se observan “crisps” quebrados

S, representa la semana de observación.

3. Análisis de varianza de variables a* y b*

a*

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
a*	252	0.36	0.28	34.77

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	406.52	27	15.06	4.68	<0.0001
Garbanzo	313.60	3	104.53	32.51	<0.0001
Semana	17.41	6	2.90	0.90	0.4937
Garbanzo*Semana	75.51	18	4.19	1.30	0.1861
Error	720.21	224	3.22		
Total	1126.72	251			

Test: Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.82215

Error: 3.2152 df: 224

Garbanzo	Means	n	S.E.	
0.00	3.41	63	0.23	A
20.00	5.32	63	0.23	B
10.00	5.38	63	0.23	B
30.00	6.51	63	0.23	C

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

b*

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
b*	252	0.56	0.50	8.36

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	1740.13	27	64.45	10.47	<0.0001
Garbanzo	1627.84	3	542.61	88.18	<0.0001
Semana	38.25	6	6.37	1.04	0.4027
Garbanzo*Semana	74.04	18	4.11	0.67	0.8402
Error	1378.31	224	6.15		
Total	3118.45	251			

Test: Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1.13735

Error: 6.1532 df: 224

Garbanzo	Means	n	S.E.	
0.00	25.79	63	0.31	A
10.00	29.40	63	0.31	B
20.00	30.68	63	0.31	C
30.00	32.78	63	0.31	D

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

4. Análisis de varianza para porcentajes de reducción del ácido fítico

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Reducción	9	0.99	0.99	6.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9374.00	2	4687.00	592.54	<0.0001
tratamiento	9374.00	2	4687.00	592.54	<0.0001
Error	47.46	6	7.91		
Total	9421.46	8			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=7.04591

Error: 7.9100 gl: 6

tratamiento	Medias	n	E.E.	
Germinación	3.70	3	1.62	A
Remojo	45.70	3	1.62	B
Fermentación	82.70	3	1.62	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5. Análisis de varianza de ácido fítico para productos horneados

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ácido Fítico x45	6	0.404	0.255	105.385

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.516	1	5.516	2.716	0.1747
Tratamiento	5.516	1	5.516	2.716	0.1747
Error	8.125	4	2.031		
Total	13.642	5			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.23099

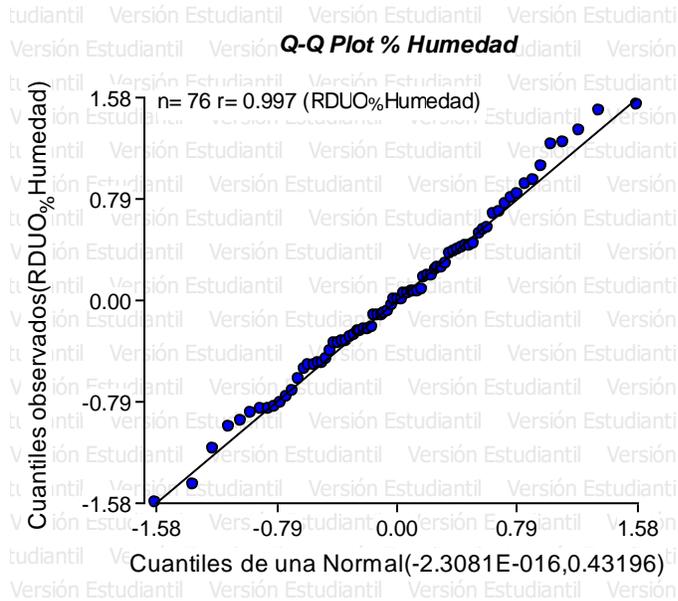
Error: 2.0313 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Germinado	0.394	3	0.823 A
Crudo	2.311	3	0.823 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

6. Supuestos de normalidad

% Humedad



H_0 = Los errores están distribuidos normalmente.

H_a = Los errores no están distribuidos normalmente.

Se acepta la hipótesis nula, los residuos normales en el gráfico están distribuidos normalmente, alineados en una recta.

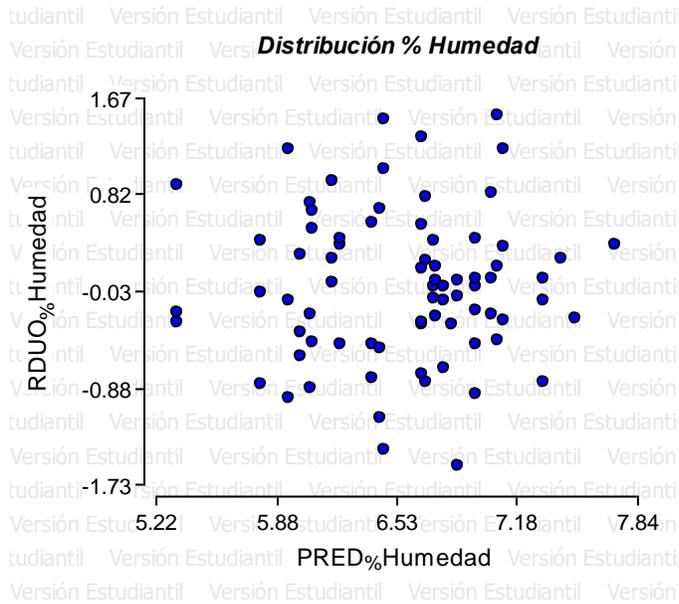
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO %Humedad	76	0.00	0.66	0.98	0.7025

H_0 = Se cumple con supuesto de normalidad.

H_a = No se cumple con supuesto de normalidad.

Se acepta H_0 , ya que el p valor (0.7025) es mayor que α (0.05). Se cumple con el supuesto de normalidad.

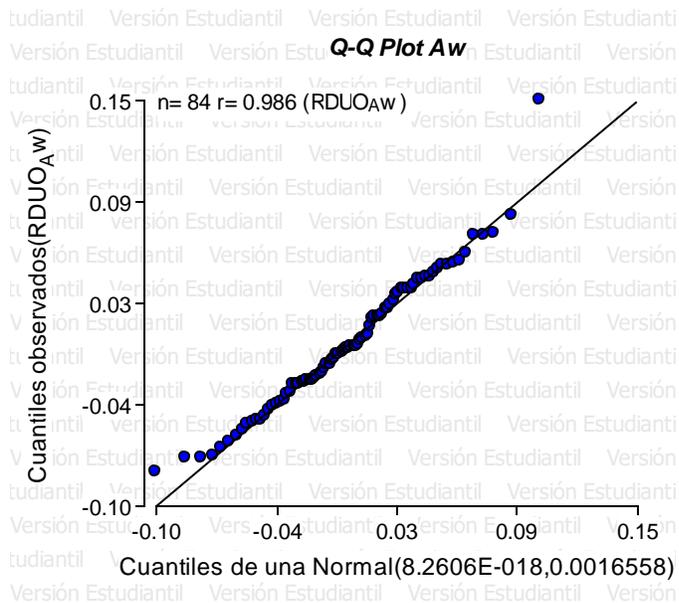


Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Los puntos en el gráfico están distribuidos de forma aleatoria, por lo tanto, hay homogeneidad de la varianza.

Aw



Ho = Los errores están distribuidos normalmente.

Ha= Los errores no están distribuidos normalmente.

Se acepta la hipótesis nula, los residuos normales en el gráfico están distribuidos normalmente, alineados en una recta.

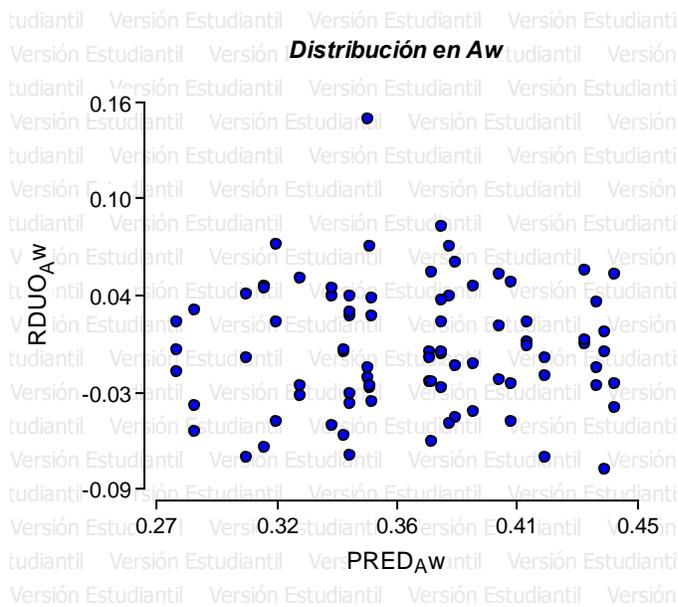
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Aw	84	0.00	0.04	0.97	0.3984

Ho= Se cumple con supuesto de normalidad.

Ha= No se cumple con supuesto de normalidad.

Se acepta Ho, ya que el p valor (0.3984) es mayor que α (0.05). Se cumple con el supuesto de normalidad

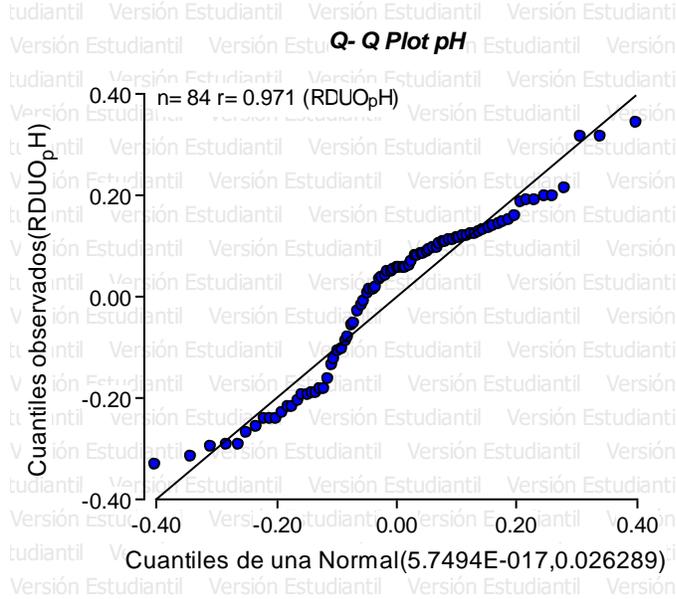


Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Los puntos en el gráfico están distribuidos de forma aleatoria, por lo tanto, hay homogeneidad de la varianza.

pH



Ho = Los errores están distribuidos normalmente.

Ha= Los errores no están distribuidos normalmente.

Se acepta la hipótesis nula, los residuos normales en el gráfico están distribuidos normalmente, alineados en una recta.

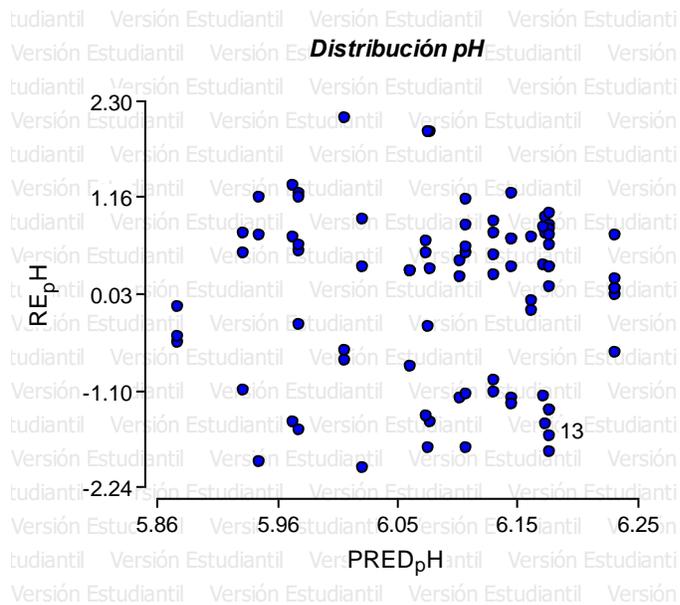
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO pH	84	0.00	0.16	0.92	<0.0001

Ho= Se cumple con supuesto de normalidad.

Ha= No se cumple con supuesto de normalidad.

No se acepta Ho, ya que el p valor (0.0001) es menor que α (0.05). No se cumple con el supuesto de normalidad.



Ho= Las varianzas son homogéneas.

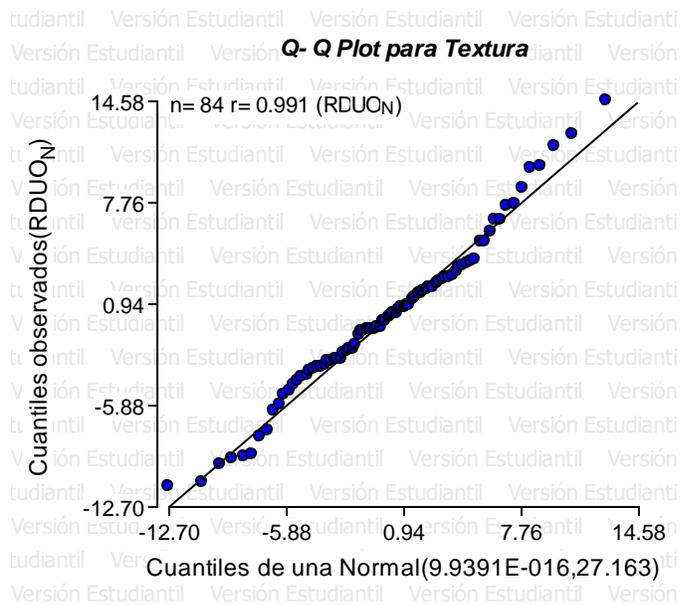
Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Los puntos en el gráfico están distribuidos de forma aleatoria, por lo tanto, hay homogeneidad de la varianza.

Textura

Ho = Los errores están distribuidos normalmente.

Ha= Los errores no están distribuidos normalmente.



Se acepta la hipótesis nula, los residuos normales en el gráfico están distribuidos normalmente, alineados en una recta.

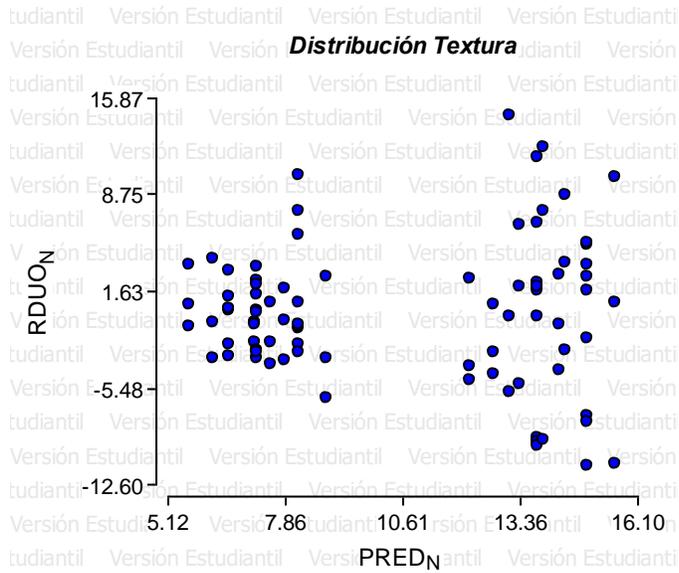
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO N	84	0.00	5.21	0.97	0.3640

Ho= Se cumple con supuesto de normalidad.

Ha= No se cumple con supuesto de normalidad.

Se acepta Ho, ya que el p valor (0.3640) es mayor que α (0.05). Se cumple con el supuesto de normalidad

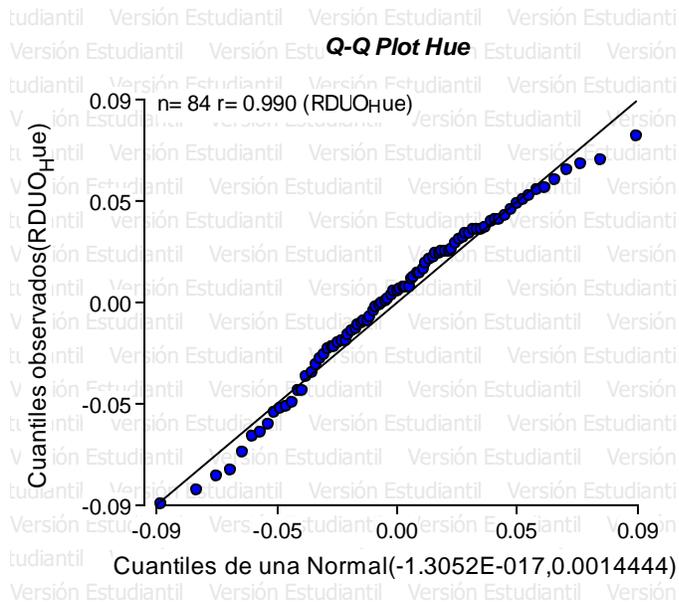


Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Los puntos en el gráfico están distribuidos de forma aleatoria, por lo tanto, hay homogeneidad de la varianza.

Hue



Ho = Los errores están distribuidos normalmente.

Ha= Los errores no están distribuidos normalmente.

Se acepta la hipótesis nula, los residuos normales en el gráfico están distribuidos normalmente, alineados en una recta.

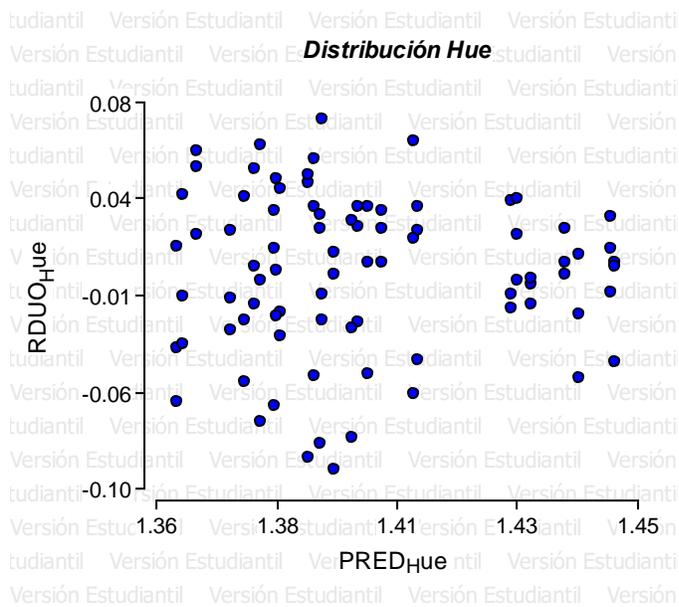
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Hue	84	0.00	0.04	0.96	0.0922

Ho= Se cumple con supuesto de normalidad.

Ha= No se cumple con supuesto de normalidad.

Se acepta Ho, ya que el p valor (0.0922) es mayor que α (0.05). Se cumple con el supuesto de normalidad

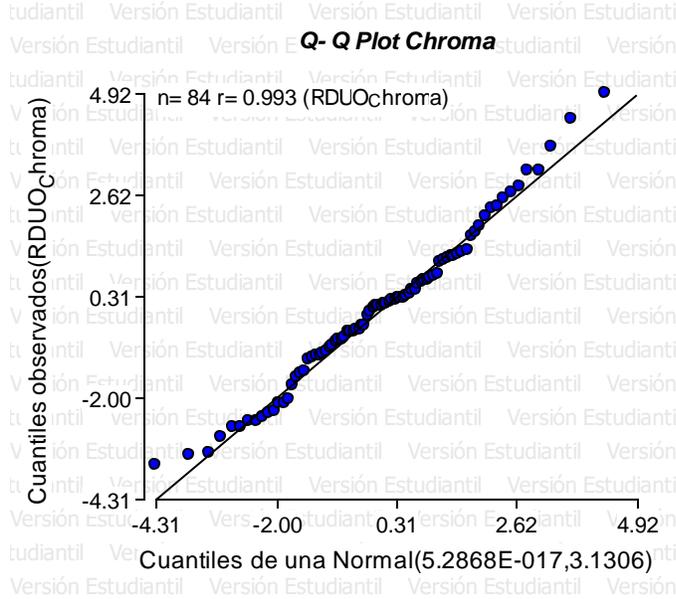


Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Los puntos en el gráfico están distribuidos de forma aleatoria, por lo tanto, hay homogeneidad de la varianza.

Cromaticidad



Ho = Los errores están distribuidos normalmente.

Ha= Los errores no están distribuidos normalmente.

Se acepta la hipótesis nula, los residuos normales en el gráfico están distribuidos normalmente, alineados en una recta.

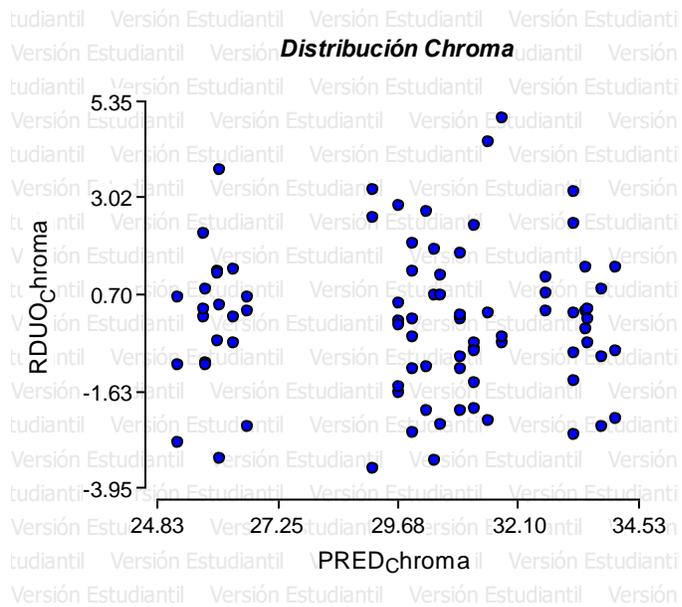
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Cromaticidad	84	0.00	1.77	0.97	0.3854

Ho= Se cumple con supuesto de normalidad.

Ha= No se cumple con supuesto de normalidad.

Se acepta Ho, ya que el p valor (0.3640) es mayor que α (0.05). Se cumple con el supuesto de normalidad



Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Los puntos en el gráfico están distribuidos de forma aleatoria, por lo tanto, hay homogeneidad de la varianza.

7. Hoja de panelista utilizada para análisis sensorial

Fecha: _____

**Recinto Universitario de Mayagüez
Programa de Ciencia y Tecnología de
Alimentos**

Panelista: _____

Programa
Lugar: CITA

Producto: _____

Prueba Ordenamiento

Atributo: Preferencia

Recordatorio al Panelista: Las muestras son productos elaborados con garbanzo e incluyen los siguientes ingredientes (harina de trigo, agua, aceite, azúcar, sal, almidón de papa pre-gelatinizado). A una galleta de soda. De usted tener sensibilidad a alguno de estos ingredientes, favor de informar al experimentador y abstenerse de participar. Gracias.

Instrucciones: Se le están entregando tres muestras codificadas con números aleatorios de tres dígitos. Anote los números de las muestras en el espacio provisto abajo. Consuma las muestras de izquierda a derecha y evalúelas cuidadosamente y ordénelas según **la preferencia**. Coloque al lado del número de muestra, el número de preferencia. El 1 representa la muestra que menos prefiere y 3 representa la muestra que más prefiere. Entre muestras, consuma agua provista para limpiar los receptores en su boca. En la parte inferior de la hoja, incluya un comentario relacionado a lo que encontró diferente en la muestra seleccionada.

Numero de Muestra	Orden Preferencia
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentarios:

8. Análisis Sensorial

Análisis Friedman

$$X^2 = \left(\frac{12}{nt(t+1)} \sum R_i^2 \right) - 3n(t+1)$$

Donde:

n= número de panelistas (45)

t= número de tratamientos (3)

X^2 experimental= 6.5

X^2 teórico= 6.0

La estadística experimental es mayor que la teórica, por tanto, rechazamos la hipótesis nula de no diferencia.

Utilizando Tukey para establecer diferencia entre los tratamientos.

$$HSD = q_{\alpha, t, \infty} \sqrt{\frac{nt(t+1)}{12}}$$

3.31 = $q_{\alpha, t, \infty}$

22.2 = HSD

9 T1 vs. T2 No diferencia

15 T2 vs. T3 No diferencia

24 T1 vs. T3 Diferencia

Donde:

T1 es el Control (100% harina de trigo).

T2 es el Crisp con harina de garbanzo germinado en una proporción 70:30 harina trigo:harina garbanzo.

T3 es el Crisp con harina de garbanzo sin tratar en una proporción 70:30 harina trigo:harina garbanzo.

9. Fotografías del panel sensorial



Figura 19. (a) Preparación de panel sensorial



Figura 19. (b) Preparación de panel sensorial



Figura 19. (c) Panelistas en evaluación sensorial de "crisps"