



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

RELACIÓN DE LA  
TRANSGLUTAMINASA BACTERIANA  
CON LA TIROSINA, METIONINA Y  
FENILALANINA EN PAN SIN GLUTEN  
BAJO CONSISTENCIA ÓPTIMA

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS CON  
MENCIÓN EN QUÍMICA

JUAN VELASCO COLAN

LIMA-PERÚ

2021



**ASESOR**

**MSc. GRACIELA UNTIVEROS BERMUDEZ**

**JURADO DE TESIS**

DRA. MARIA CONCEPCION RIVERA CHIRA

PRESIDENTE

MG. EDSON EMILIO GARAMBEL VILCA

VOCAL

MG. MARIA VICTORIA MARULL ESPINOZA

SECRETARIA

### **DEDICATORIA.**

A mi esposa Doris por la confianza que puso en mí.

A mis hijos Andrea y Diego por ser la fuente de inspiración.

A mi madre y padre por su apoyo en mis primeros pasos.

### **AGRADECIMIENTOS.**

A la Universidad por seguir confiando en mí.

A mi Asesora por su visión y apoyo.

Y a todas las personas que han seguido conmigo este proceso.

### **FUENTES DE FINANCIAMIENTO.**

Tesis autofinanciada con el apoyo de las empresas

Stern-Wywiol Gruppe GmbH & Co

Qhalincha EIRL

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 1.1. El gluten .....  | 1  |
| 1.1.1 La estructura del gluten y sus aminoácidos.....             | 2  |
| 1.1.1.1 Tirosina .....  | 7  |
| 1.1.1.2 Metionina .....   | 9  |
| 1.1.1.3 Fenilalanina.....   | 10 |
| 1.1.1.4 Aminoácidos Estructurales.....                            | 10 |
| 1.1.1.5 Otros aminoácidos.....                                    | 12 |
| 1.1.2 Microingredientes que interaccionan con el gluten .....     | 13 |
| 1.1.2.1 Enzima trans-glutaminasa .....                            | 13 |
| 1.1.2.2 Monoglicéridos .....                                      | 16 |
| 1.1.2.3 Goma Xantano .....  | 17 |
| 1.2. Elaboración del Pan.....                                     | 17 |
| 1.2.1. Pan Tradicional .....                                      | 19 |
| 1.2.2. El valor nutricional del pan tradicional.....              | 21 |
| 1.3. El Pan y la enfermedad Celiaca .....                         | 22 |
| 1.3.1. Alternativa de Harina de Garbanzo como materia seca.....   | 24 |
| 1.3.2. Alternativa de Recursos Vegetales como materia húmeda..... | 25 |
| OBJETIVOS .....   | 27 |
| Objetivo General .....  | 27 |
| Objetivos Específicos.....  | 27 |
| MATERIALES Y METODOS .....  | 29 |
| 3.1 Material Biológico .....                                      | 29 |
| 3.1.1 Microingredientes a identificar .....                       | 29 |
| 3.1.1.1 Enzima Transglutaminasa .....                             | 29 |
| 3.1.1.2 Goma Xantano .....  | 29 |
| 3.1.2. Recurso Vegetal como material seco .....                   | 29 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.2.1 Garbanzo ( <i>Cicer arietinum</i> ).....                | 29 |
| 3.1.3 Recursos Vegetales Frescos como materiales húmedos .....  | 30 |
| 3.1.3.1 Zapallo ( <i>Cucurbita máxima</i> ) .....               | 30 |
| 3.1.3.2 Camote ( <i>Ipomoea batatas</i> ).....                  | 30 |
| 3.1.3.3 Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....                 | 31 |
| 3.1.3.4 Maíz Choclo ( <i>Zea Mays</i> ) .....                   | 31 |
| 3.1.3.5 Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) .....               | 32 |
| 3.1.4 Equipos para llevar a cabo los Procesos .....             | 32 |
| 3.1.4.1 Equipos de Particulado de los Recursos Vegetales.....   | 32 |
| 3.1.4.2 Equipos de Panificación.....                            | 33 |
| 3.1.5 Materiales y equipos para análisis proximal .....         | 33 |
| 3.1.5.1 Reactivos .....   | 33 |
| 3.1.5.2 Material de laboratorio .....                           | 34 |
| 3.1.5.3 Instrumentos.....                                       | 34 |
| 3.2 Metodología .....   | 35 |
| 3.2.1 Preparación del Recurso Vegetal .....                     | 35 |
| 3.2.1.1 Selección .....   | 35 |
| 3.2.1.2 Limpieza.....   | 35 |
| 3.2.1.3 Licuado.....  | 35 |
| 3.2.2 Método de Panificación .....                              | 35 |
| 3.2.3 Recetas para Pruebas.....                                 | 36 |
| 3.2.3.1 Cálculo de Balance Hídrico .....                        | 37 |
| 3.2.3.2 Ajuste de Receta para consistencia óptima .....         | 38 |
| 3.2.4 Métodos para Análisis Proximal .....                      | 41 |
| 3.2.4.1 Determinación de Humedad: Método gravimétrico.....      | 41 |
| 3.2.4.2 Determinación de Fibra cruda: Método gravimétrico ..... | 41 |
| 3.2.4.3 Determinación de Grasas: método Soxhlet .....           | 42 |
| 3.2.4.4 Determinación de Proteína: Método de Kjeldahl.....      | 43 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.4.5 Determinación de Cenizas: Método gravimétrico.....   | 45 |
| 3.2.4.6 Determinación de Carbohidratos.....  | 45 |
| RESULTADOS.....  | 46 |
| 4.1 Perfil de aminoácidos de los recursos propuestos.....  | 46 |
| 4.2 Similitud de las funciones de los recursos propuestos .....  | 46 |
| 4.3 Correlación del contenido de aminoácidos y el volumen del Pan .....  | 47 |
| 4.3.1 Determinación del volumen del pan sin gluten.....  | 47 |
| 4.3.1.1 Zapallo y Garbanzo .....   | 47 |
| 4.3.1.2 Camote y Garbanzo.....   | 49 |
| 4.3.1.3 Papa y Garbanzo .....  | 50 |
| 4.3.1.4 Maíz y Garbanzo .....  | 51 |
| 4.3.1.5 Plátano y Garbanzo .....   | 52 |
| 4.3.1.6 Selección de pruebas sin Gluten .....  | 54 |
| 4.3.2 Correlación del contenido de aminoácido y el volumen del pan .....   | 55 |
| 4.3.2.1 Relación de la tirosina y el volumen del pan .....   | 55 |
| 4.3.2.2 Relación de la metionina y el volumen del pan .....  | 56 |
| 4.3.2.3 Relación de la fenilalanina y el volumen del pan .....   | 56 |
| 4.3.2.4 Relación de Aminoácidos estructurales con el volumen del pan.....  | 57 |
| 4.3.2.5 Relación de otros aminoácidos y el volumen del pan.....  | 58 |
| 4.4 Recursos vegetales de las distintas regiones naturales del Perú que representan alternativas de pan sin gluten ..... | 60 |
| 4.4.1 Valor Nutricional .....  | 60 |
| 4.4.2 Costo y Factibilidad de las propuestas .....   | 60 |
| 4.4.3 Recetas de pan sin gluten .....  | 61 |
| DISCUSIÓN .....  | 62 |
| 5.1 Perfil de aminoácidos de los recursos propuestos.....  | 62 |
| 5.2 Similitud de las funciones de los recursos propuestos .....  | 62 |
| 5.3 Correlación de los aminoácidos con el volumen del Pan.....   | 63 |
| 5.3.1 Determinar el contenido de los aminoácidos de las recetas propuestas.....  | 63 |



|  |    |
|--|----|
| 5.3.2 Determinación del volumen del pan de las recetas propuestas .....  | 64 |
| 5.3.2.1 Zapallo y Garbanzo .....   | 64 |
| 5.3.2.2 Camote y garbanzo.....   | 65 |
| 5.3.2.3 Papa y Garbanzo .....  | 66 |
| 5.3.2.4 Maíz y Garbanzo .....  | 67 |
| 5.3.2.5 Plátano y garbanzo .....   | 68 |
| 5.3.2.6 Selección de pruebas sin Gluten .....  | 69 |
| 5.3.3 Determinación de la correlación del volumen del pan y el contenido de aminoácidos.....                             | 71 |
| 5.3.3.1 Relación de la tirosina y el volumen del pan .....   | 72 |
| 5.3.3.2 Relación de la metionina y el volumen del pan .....  | 74 |
| 5.3.3.3 Relación de la fenilalanina y el volumen del pan .....   | 75 |
| 5.3.3.4 Relación de aminoácidos estructurales y el volumen del pan.....  | 76 |
| 5.3.3.5 Relación con otros aminoácidos con el volumen del pan .....  | 77 |
| 5.4 Recursos vegetales de las distintas regiones naturales del Perú que representan alternativas de pan sin gluten ..... | 78 |
| 5.4.1 Valor Nutricional .....  | 78 |
| 5.4.1.1 Proteínas .....  | 78 |
| 5.4.1.2 Fibra .....  | 79 |
| 5.4.1.3 Carbohidratos .....  | 79 |
| 5.4.1.4 Cenizas y Grasa.....   | 79 |
| 5.4.2 Costo y Factibilidad de las propuestas .....   | 80 |
| 5.4.3 Determinación de las mejores recetas de pan sin gluten.....  | 81 |
| CONCLUSIONES .....   | 83 |
| RECOMENDACIONES .....  | 84 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 85 |

## Índice de Ilustraciones

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1 Segunda Derivada del Espectro MIR del gluten de trigo a diferentes tiempos de amasado ..... | 5  |
| Ilustración 2 Estructura Química de Tirosina .....  | 8  |
| Ilustración 3 Estructura Química de Metionina .....   | 9  |
| Ilustración 4 Estructura Química de Fenilalanina.....   | 10 |
| Ilustración 5 Estructura Química de Glutamina.....  | 10 |
| Ilustración 6 Estructura Química de Prolina .....   | 11 |
| Ilustración 7 Estructura Funcional de la enzima transglutaminasa .....                                    | 14 |
| Ilustración 8: Cadena Productiva del Pan .....  | 19 |
| Ilustración 9 Panes de Zapallo + Garbanzo .....   | 48 |
| Ilustración 10 Volumen Pan Zapallo + Garbanzo + Goma Xantano (variable).....                              | 48 |
| Ilustración 11 Panes de Camote + Garbanzo .....   | 49 |
| Ilustración 12 Volumen Pan Camote + Garbanzo + Goma Xantano (variable) ....                               | 50 |
| Ilustración 13 Panes de Papa + Garbanzo .....   | 50 |
| Ilustración 14 Volumen Pan Papa + Garbanzo + Goma Xantano (variable) .....                                | 51 |
| Ilustración 15 Panes de Maíz + Garbanzo .....   | 52 |
| Ilustración 16 Volumen de Pan de Maíz + Garbanzo a diferentes niveles de Goma Xantano .....               | 52 |
| Ilustración 17 Panes de Plátano + Garbanzo.....   | 53 |
| Ilustración 18 Volumen Pan Plátano + Garbanzo + Goma Xantano (variable).....                              | 54 |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Clasificación de las proteínas del trigo .....                             | 1  |
| Tabla 2 Clasificación Osborne de las Proteínas del Gluten .....                    | 2  |
| Tabla 3 Contenido de estructuras Secundarias en el Gluten .....                    | 4  |
| Tabla 4 Correlación Lineal entre Contenido de Azufre y características del Pan. .. | 6  |
| Tabla 5 Contenido de aminoácidos según granulometría .....                         | 7  |
| Tabla 6 Funciones de los Microingredientes .....                                   | 12 |
| Tabla 7: Receta de Pan Tradicional .....   | 20 |
| Tabla 8 Contenido Nutricional Harina vs Grano de Trigo.....                        | 22 |
| Tabla 9 Comparación Nutricional Harina de Trigo y Lentejas o Garbanzo .....        | 24 |
| Tabla 10 Composición de Proteínas en recursos vegetales.....                       | 25 |
| Tabla 11 Proporciones Recursos Vegetales y Recurso Seco .....                      | 38 |
| Tabla 12 Recetas de Pruebas Garbanzo y Zapallo .....                               | 39 |
| Tabla 13 Recetas de Pruebas Garbanzo y Camote.....                                 | 39 |
| Tabla 14 Recetas de Pruebas Garbanzo y Papa .....                                  | 40 |
| Tabla 15 Recetas de Pruebas Garbanzo y Maiz .....                                  | 40 |
| Tabla 16 Recetas de Pruebas Garbanzo y Plátano .....                               | 40 |
| Tabla 17 Perfil de Aminoácidos de las mezclas.....                                 | 46 |
| Tabla 18 Cobertura de Requerimientos del Pan Tradicional .....                     | 47 |
| Tabla 19 Resultados Volumen de Pan en consistencia óptima .....                    | 54 |
| Tabla 20 Comparativo Pan Tradicional vs Pan Sin Gluten.....                        | 55 |
| Tabla 21 Análisis Proximal de Pruebas de Pan Sin Gluten .....                      | 60 |
| Tabla 22 Volumen de Pan y Costos de Propuestas .....                               | 61 |
| Tabla 25 Resumen de Características y Costos de Pruebas .....                      | 61 |



## **RESUMEN**

En esta propuesta se utiliza la enzima transglutaminasa que genera un entrelazamiento de los aminoácidos para simular un pseudo gluten, donde buscaremos entender la relación de los aminoácidos con la enzima y el volumen de pan logrado.

Los contenidos de aminoácidos, tirosina, fenilalanina y metionina están inversamente relacionados al volumen de pan sin gluten; mostrando ser los aminoácidos de mayor interacción y selectividad con la enzima transglutaminasa, superando 0.90 en correlación lineal.

En los últimos años al descubrir la enfermedad autoinmune, celiacía, relacionada al gluten del trigo, se han desarrollado productos similares al pan tradicional con ingredientes nuevos sin contener trigo o derivados, denominados pan sin gluten.

Se desarrollaron recetas con diferentes tipos de recursos vegetales nacionales, estandarizándolas y optimizando su consistencia través de variaciones de goma xantano entre el 1% y 3 %.

Es factible obtener pan sin gluten con garbanzo y fuentes vegetales regionales del Perú con mayor nivel de proteínas y de fibras que un pan tradicional, el mayor volumen de pan se obtuvo con la mezcla de plátano y garbanzo. La goma xantano ajusta correctamente la viscoelasticidad en las pruebas realizadas, especialmente en las mezclas de garbanzo con zapallo, camote y plátano.

Palabras claves: Pan sin gluten, transglutaminasa, fenilalanina, metionina, tirosina.

## **ABSTRACT**

In this proposal, the enzyme transglutaminase is used, which generates an interlacing of amino acids to simulate a pseudo gluten, where we will seek to understand the relationship of amino acids with the enzyme and the volume of bread achieved.

The contents of amino acids, tyrosine, phenylalanine, and methionine are inversely related to the volume of gluten-free bread, showing to be the amino acids with the highest interaction and selectivity with the transglutaminase enzyme, exceeding 0.90 in linear correlation.

In recent years, after discovering the autoimmune disease, celiac disease, related to wheat gluten, products like traditional bread have been developed with new ingredients without containing wheat or derivatives, called gluten-free bread.

Recipes were developed with different types of national plant resources, standardizing them, and optimizing their consistency through xanthan gum variations between 1% and 3%.

It is feasible to obtain gluten-free bread with chickpea and regional vegetable sources from Peru with a higher level of protein and fiber than a traditional bread, the highest volume of bread was obtained with the mixture of banana and chickpea.

The xanthan gum correctly adjusts the viscoelasticity in the tests carried out, especially in the mixtures of chickpea with pumpkin, sweet potato, and banana.

**Keywords:** Gluten-free bread, transglutaminase, phenylalanine, methionine, tyrosine.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 El gluten

El gluten es un conjunto de proteínas vegetales que tienen la capacidad de formar con agua una masa viscoelástica que puede retener gas, y al calentarlo formará una estructura esponjosa que denominamos pan. El gluten no es una simple molécula sino es una mezcla compleja de distintas proteínas relacionadas e interrelacionadas entre sí; principalmente las proteínas denominadas gliadina y glutenina.

Las proteínas que conforman el gluten sólo se encuentran en el endospermo del trigo, y representan entre el 80 al 85% del contenido total de proteínas de todo del trigo, el otro 15 a 20% de las proteínas se encuentran en la cáscara, pero estas a pesar que contienen proteínas monoméricas (albúminas y globulinas) y poliméricas (triticinas), no contribuyen ni participan en la formación de las características especiales del gluten; razón funcional básica para no ser incluidas en la harina de trigo para hacer pan; tal como lo muestra la Tabla 1 Clasificación de las proteínas del trigo.

Tabla 1 Clasificación de las proteínas del trigo

| Clasificación de acuerdo a su funcionalidad | Ubicación en el grano   | % en la harina de trigo | Proteínas monoméricas   | Proteínas poliméricas |
|---|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Proteínas no pertenecientes al gluten       | Principalmente en las capas externas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo | 15 - 20 %               | Albúminas<br>Globulinas | Triticinas            |
| Proteínas pertenecientes al gluten          | En el endospermo del grano de trigo   | 80 - 85%                | Gliadinas               | Gluteninas            |

*Fuente: Proteínas de la harina de trigo (De la Vega Ruiz, 2009)*

Las proteínas del gluten están clasificadas en tres grupos: gliadinas, gluteninas y residuales; aunque se reconoce a los dos primeros grupos como las proteínas principales en las características especiales del gluten; debemos precisar que la

clasificación depende de la solubilidad Osborne, mas no necesariamente en su función en la red de gluten.

**Tabla 2 Clasificación Osborne de las Proteínas del Gluten**

| Fracción Osborne | Comportamiento en Solubilidad      | Composición   | Papel Biológico   | Papel funcional                        |
|------------------|------------------------------------|---|---|--|
| Gliadinas        | Extraíble en solución de alcohol   | Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular) | Proteína de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas  | Viscosidad de la masa / extensibilidad |
| Gluteninas       | Extraíble en ácido acético diluido | Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)                         | Proteína de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas  | Elasticidad de la masa / tenacidad     |
| Residuo          | Sin extraer                        | Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)  | Proteína de almacenamiento de la semilla tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas) | Variable                               |

*Fuente: Proteínas de la harina de trigo (De la Vega Ruiz, 2009)*

Sin embargo, a través de pruebas funcionales de fracciones separadas, se conoce con bastante precisión que la función de las gliadinas en la red de gluten está relacionada a la consistencia de la masa, ya que no es extensible; y la función de las gluteninas está relacionada a la elasticidad. El conjunto de ambas, las gliadinas y las gluteninas generan las características especiales del gluten, una masa viscoelástica, con capacidad de retener gas, tal como lo describe la Tabla 2 Clasificación Osborne de las Proteínas del Gluten.

Uno de los objetivos de esta tesis, es evaluar e identificar compuestos que tengan relación entre la transglutaminasa bacteriana y el contenido de fenilalanina, metionina y tirosina de panes sin gluten con diferentes fuentes vegetales, utilizando así un recurso vegetal alternativo al trigo que contenga proteínas similares y que pueda obtenerse pan con volumen similar al pan tradicional.

### 1.1.1 La estructura del gluten y sus aminoácidos

Como se mencionó anteriormente el gluten este compuesto principalmente por las proteínas gluteninas y gliadinas, las cuales por la estructura adoptada pueden

clasificarse en  $\alpha$ -/ $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\omega$ -gliadinas; y las gluteninas se pueden clasificar según su peso molecular en Gluteninas de Alto Peso Molecular (HMW-GS) y Gluteninas de Bajo Peso Molecular (LMW-GS).

Debido a sus antecedentes evolutivos las Gliadinas y las Gluteninas de Bajo Peso Molecular (LMW-GS) comparten similitudes en su estructura primaria; ambos tipos contienen regiones de secuencias repetitivas de hepta y dodeca-peptidos ricos en los aminoácidos residuales de prolina y glutamina. A pesar de estas similitudes varían en su forma nativa, las gliadinas son monoméricas entrelazadas solo a través de enlaces disulfuro intramoleculares; y las Gluteninas de Bajo Peso Molecular (LMW-GS) forman grandes moléculas proteicas con enlaces intermoleculares con otras gluteninas a través también de enlaces disulfuro (Markgren, 2020).

Las Gluteninas de Alto Peso Molecular (HMW-GS) son las estructuras proteicas más grandes y las responsables de la elasticidad de la masa de gluten, y su estructura se divide en 3 zonas o dominios, el primer dominio y no repetitivo es el terminal-N que contiene entre 81-104 residuos, el dominio central repetitivo y el dominio terminal-C que contiene 42 residuos. El dominio central repetitivo es la parte más larga de la HMW-GS y contiene dos tipos de unidades primarias repetitivas tipo-x y tipo-y; las tipo-x que contienen unidades primarias de tripeptidos (GQQ), hexapeptidos (PGQGQQ), y nonapeptidos (GYYPSTPQQ) y las tipo-y contienen hexapeptidos (PGQGQQ) y nonapeptidos (GYYPSTLQQ) (Yi Li, 2021).

Complementariamente, se conoce que el aminoácido cisteína está presente de manera en la glutenina HMW en posiciones específicas; la cisteína es un aminoácido azufrado o que contiene azufre en su molécula, siendo un aminoácido



muy importante ya que a pesar de que no está presente en grandes cantidades, permite el enlace disulfuro, lo cual es utilizado para extender el tamaño del polímero lo que provocara finalmente la red de gluten.

Es importante destacar que la cisteína o los enlaces disulfuro no se presentan en grandes cantidades dentro del gluten, sino solo en puntos específicos del gluten, y su ubicación son críticos en la estructura del gluten (Yi Li, 2021).

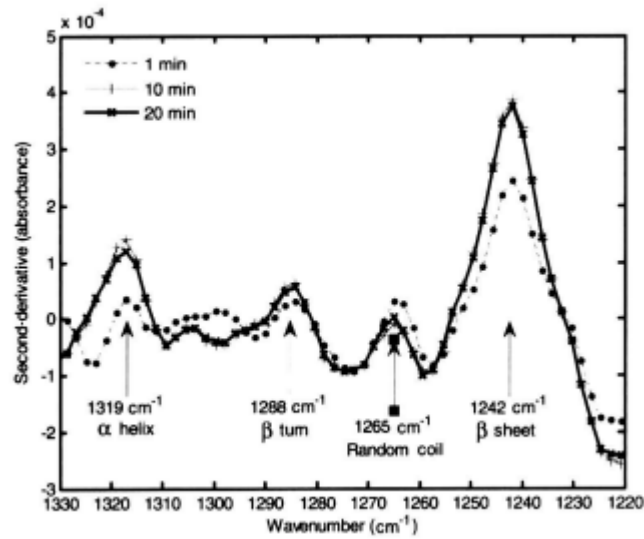
A través de métodos espectro métricos se ha logrado conocer la estructura secundaria de las proteínas del gluten, siendo las más comunes son las hélices- $\alpha$  y las hoja- $\beta$ , representando más del 80% de las estructuras secundarias. (Konrad Kłosok, 2021)

Tabla 3 Contenido de estructuras Secundarias en el Gluten

| Type of Gluten                 | Content of Protein Secondary Structures |                 |                |
|--------------------------------|---|-----------------|----------------|
|                                | $\alpha$ -Helix                         | $\beta$ -Sheets | $\beta$ -Turns |
| Native [16]                    | 51%                                     | 36%             | 13%            |
| Commercially available [17,18] | 34%                                     | 49%             | 17%            |
|                                | 45%                                     | 47%             | 8%             |
| Hydrated solid state [19]      | 31%                                     | 28%             | 27%            |

En el intento de entender si existe algún cambio en la estructura secundaria del gluten durante el amasado, se logró determinar a través de la Espectroscopia del Infrarojo Medio (MIR) que durante el amasado de agua y harina de trigo las estructuras secundarias se incrementa las hélices- $\alpha$ , hoja- $\beta$  y y giros-  $\beta$  y la disminución de las de las conformaciones al azar, lo que demostró que el amasado ordena las fracciones de proteínas presentes. (Kaddour, 2006).

Ilustración 1 Segunda Derivada del Espectro MIR del gluten de trigo a diferentes tiempos de amasado



Por muchos años se daba por sentado que la unión de las diferentes estructuras del gluten se debía principalmente a través de los enlaces disulfuro de los aminoácidos sulfurados, como la cisteína, Esta idea era similar a la asociación de la disponibilidad de determinados aminoácidos en un cuerpo, por ejemplo, en el cabello. La presencia de cisteína en la cadena lateral de la proteína del cabello, denominada Creatina; está relacionado al grado de ondulación del cabello, de tal manera que las empresas cosmetológicas trabajan en las reacciones de los puentes disulfuro entre los variados eslabones de cisteína de la proteína del cabella para liberar o consolidar los puentes disulfuro e impactar en el grado de ondulación del cabello (Cruz, 2017).

Algunos esfuerzos por relacionar el contenido de azufre, relacionado a los aminoácidos azufrados, con las características del pan no han encontrado una correlación lineal fuerte. En el 2011 el investigador Ya Liu publica una correlación de 0.64 entre el volumen del pan y el contenido de azufre; más bien encontró una

correlación más alta del contenido de azufre y la resistencia a la extensión de 0.88, lo que indica una relación más fuerte a la contracción (menos volumen) con la mayor presencia de azufre (Liu & Ohm, 2011).

Tabla 4 Correlación Lineal entre Contenido de Azufre y características del Pan.

**TABLE IV**  
Simple Linear and Partial Correlation Coefficients of Sulfur (S) and Nitrogen (N) Contents with Dough Rheology and Breadmaking Traits in Flour Mill Streams<sup>a</sup>

|                      |   | Farinograph Peak Time | Resistance to Extension | Extensibility      | Bread Loaf Volume   | Bread Crumb Characteristics |                     |                    |
|----------------------|---|-----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
|                      |   |                       |                         |                    |                     | Number of Cells             | Cell Volume         | Cell Alignment     |
| Simple               | N | 0.70 <sup>***</sup>   | -0.80 <sup>***</sup>    | 0.62 <sup>**</sup> | 0.74 <sup>**</sup>  | 0.57 <sup>*</sup>           | 0.79 <sup>***</sup> | 0.74 <sup>**</sup> |
|                      | S | 0.65 <sup>*</sup>     | -0.88 <sup>***</sup>    | 0.67 <sup>**</sup> | 0.64 <sup>*</sup>   | 0.54 <sup>*</sup>           | 0.68 <sup>**</sup>  | 0.73 <sup>**</sup> |
| Partial <sup>b</sup> | N | 0.76 <sup>**</sup>    | -0.72 <sup>**</sup>     | 0.67 <sup>**</sup> | 0.85 <sup>***</sup> | 0.61 <sup>**</sup>          | 0.81 <sup>***</sup> | 0.68 <sup>**</sup> |
|                      | S | 0.81 <sup>***</sup>   | -0.77 <sup>**</sup>     | 0.56 <sup>*</sup>  | 0.87 <sup>***</sup> | 0.66 <sup>**</sup>          | 0.76 <sup>**</sup>  | 0.68 <sup>**</sup> |

<sup>a</sup> \*, \*\*, and \*\*\*: Correlation coefficients significant at  $P < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively.

<sup>b</sup> Partial variable (ash content).

En el año 2019, el investigador Jiangtao Lin, encontró una variación del contenido de aminoácidos en la superficie diferente al contenido de aminoácidos al cuerpo de la partícula y que varía de acuerdo con el tamaño de la partícula del trigo (Lin, 2019); con esta diferencia agrupo los aminoácidos en 4 grupos (I, II, III y IV) de acuerdo con las similitudes que encontró. El grupo II contenía menor cantidad de aminoácidos en tamaño de partículas pequeñas y mayor contenido en las partículas más grandes, a diferencia de los otros grupos (I, III y IV) lo que indica que el contenido de aminoácidos posee una distribución especial en un vegetal y no es única, la cual seguramente tiene efecto en las características de un pan; este hallazgo es sumamente interesante porque los aminoácidos tirosina, metionina y fenilalanina evaluados en esta tesis, se encuentran en este grupo (II).

Tabla 5 Contenido de aminoácidos según granulometría

| Grupo | Amino Acido | #1    | #2    | #3    | #4    | #5    | #6    | #7    | #8    | Prom  | DS   |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| I     | Thr         | 2.40  | 2.00  | 1.39  | 1.71  | 1.94  | 1.69  | 2.11  | 1.70  | 1.87  | 0.29 |
|       | Lys         | 2.38  | 2.12  | 2.25  | 2.02  | 1.77  | 2.55  | 2.73  | 2.31  | 2.27  | 0.30 |
|       | Gly         | 3.46  | 3.01  | 3.09  | 3.08  | 3.18  | 3.40  | 3.44  | 3.01  | 3.21  | 0.18 |
|       | Ile         | 3.64  | 3.24  | 4.27  | 3.50  | 3.71  | 4.05  | 3.82  | 3.25  | 3.69  | 0.34 |
|       | Arg         | 3.47  | 3.96  | 3.60  | 4.10  | 2.84  | 3.18  | 2.90  | 3.75  | 3.48  | 0.46 |
|       | Asp         | 4.83  | 4.50  | 4.45  | 4.46  | 4.13  | 4.63  | 3.79  | 4.44  | 4.40  | 0.30 |
| II    | Met         | 1.17  | 1.18  | 1.10  | 1.46  | 1.66  | 1.80  | 1.90  | 1.29  | 1.45  | 0.29 |
|       | Cys         | 1.21  | 0.87  | 1.31  | 1.59  | 2.68  | 2.53  | 2.46  | 1.76  | 1.80  | 0.66 |
|       | Ala         | 2.46  | 1.98  | 1.61  | 2.06  | 2.21  | 2.66  | 2.74  | 2.07  | 2.22  | 0.35 |
|       | Tyr         | 2.49  | 2.49  | 2.02  | 2.55  | 2.97  | 3.16  | 2.92  | 2.44  | 2.63  | 0.35 |
|       | His         | 3.07  | 2.98  | 2.30  | 2.81  | 3.23  | 3.51  | 2.95  | 3.15  | 3.00  | 0.33 |
|       | Val         | 3.74  | 3.51  | 3.06  | 3.97  | 4.50  | 4.90  | 4.52  | 3.81  | 4.00  | 0.79 |
|       | Ser         | 4.48  | 4.09  | 3.32  | 3.66  | 4.00  | 4.42  | 4.67  | 4.13  | 4.10  | 0.42 |
|       | Phe         | 4.85  | 4.29  | 4.39  | 4.69  | 5.42  | 5.69  | 5.23  | 4.15  | 4.84  | 0.53 |
| Leu   | 5.37        | 4.71  | 4.61  | 4.69  | 5.34  | 5.56  | 5.84  | 4.34  | 5.06  | 0.50  |      |
| III   | Pro         | 8.30  | 8.60  | 8.27  | 8.40  | 6.67  | 5.42  | 7.02  | 7.67  | 7.54  | 1.05 |
| IV    | Glu         | 33.55 | 36.65 | 38.57 | 39.96 | 34.89 | 35.00 | 35.10 | 35.44 | 36.15 | 2.01 |

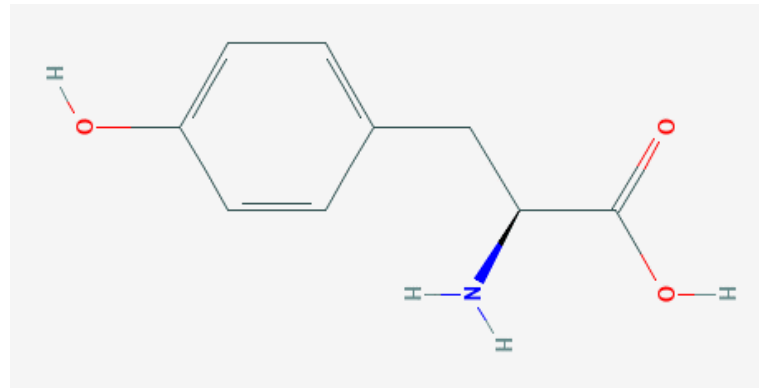
*“Los resultados de XPS mostraron que la composición química de la superficie de la harina de trigo de diferentes tamaños no tenía correlación con la masa composición química, lo que indica que tendrían un efecto independiente sobre la calidad de la harina”*

Por lo tanto, tal como se mencionó en párrafos anteriores, el volumen del pan podría estar relacionado a los aminoácidos que interactúan con la enzima bacteriana transglutaminasa, y es lo que esta tesis espera detectar.

#### 1.1.1.1 Tirosina

La tirosina es un aminoácido no esencial que está presente en el gluten de trigo (2.4%), está clasificada como un aminoácido aromático por tiene un anillo bencénico. En el cuerpo humano puede ser producido a partir de la metionina, mencionada anteriormente.

Ilustración 2 Estructura Química de Tirosina



La Tirosina es el único aminoácido relacionado fuertemente con la calidad del pan, las afirmaciones de la Universidad Estatal de Kansas, establecen que los enlaces de tirosina son los bloques de armado del gluten; esta afirmación es muy importante porque la información creída por muchos años, que los enlaces disulfuros son los que permitían la formación de la red de gluten; y no un aminoácido como la tirosina, que no contiene azufre en su conformación.

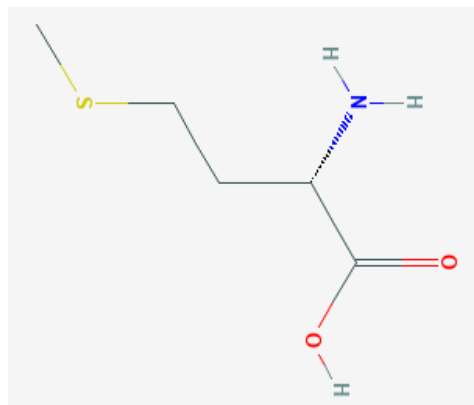
“Se ha demostrado experimentalmente que dentro de la proteína de harina de trigo llamada Gluten, moléculas de tirosina que reaccionan con otras moléculas de tirosina, ya sea en la misma cadena de proteínas o a través cadenas de proteínas separadas: construyen una red compleja de fuertes enlaces cruzados” (Tilley, 2001).

En la publicación de Ya Liu, se puede encontrar la correlación del contenido del aminoácido Tirosina y el volumen del pan, con un resultado negativo de (-0.81), siendo el único aminoácido junto con el aminoácido lisina tener este tipo de relación; hay que destacar que en esta publicación no es el contenido total del aminoácido Tirosina, sino solo el contenido de aminoácido libre extraído con una solución de alcohol.

Debido a la importancia de la tirosina en la construcción del gluten, en esta tesis determinaremos un rango amplio de contenido del aminoácido tirosina como eje principal para determinar el uso de diferentes recursos vegetales en la formación del pseudo gluten de un pan sin gluten.

#### 1.1.1.2 Metionina

Ilustración 3 Estructura Química de Metionina



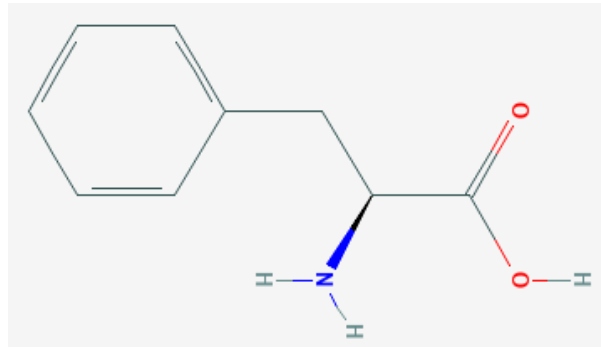
La metionina es un aminoácido esencial que contiene azufre en su composición, en el gluten de trigo se encuentra en un nivel cerca al 2%, considerando un nivel relativamente alto de este aminoácido.

Es interesante saber que, si se trata con metionina el gluten de trigo, la reacción inmunogénica del trigo se reduce, por lo que, recetas con niveles altos de metionina, podrían ser interesantes para la preparación de panes sin gluten.

Sin embargo, también se ha probado que el gluten tratado con metionina genera un pan más compacto, menos agradable (Cabrera Chavez & al, 2010) (Bong-Kyung & al, 2005); sería interesante saber si esta misma relación de compactación con el contenido de metionina, existe en nuestra receta de pan sin gluten.

### 1.1.1.3 Fenilalanina

Ilustración 4 Estructura Química de Fenilalanina



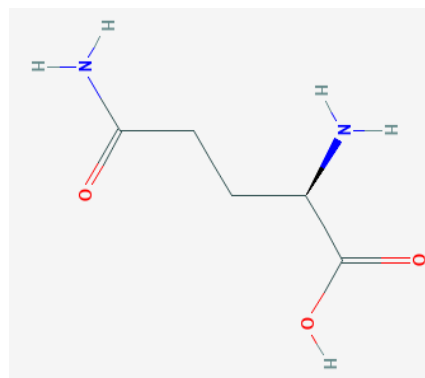
Fenilalanina es un aminoácido esencial presente en el trigo (4.4%), se le identifica como aromático por el anillo bencénico en su estructura. Existe una enfermedad genética por no poder descomponer este aminoácido en el cuerpo que se llama fenilcetonuria (PKU).

Así como la metionina, también se ha detectado que la harina de trigo tratada con fenilalanina no incrementa el volumen del pan (Bong-Kyung & al, 2005). En el mismo sentido, indagaremos esta misma relación en el pan sin gluten.

### 1.1.1.4 Aminoácidos Estructurales

#### 1.1.1.4.1 Glutamina (ácido glutámico)

Ilustración 5 Estructura Química de Glutamina



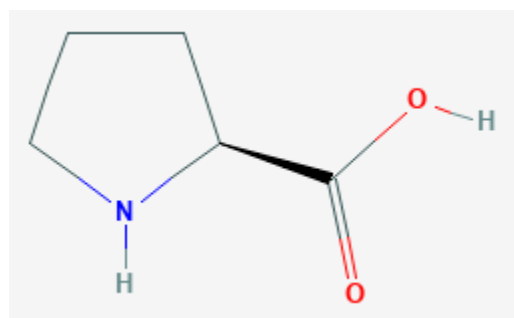
La glutamina es un aminoácido no esencial y es uno de los pocos aminoácidos que posee dos átomos de Nitrógeno, es muy abundante en los músculos, y en el gluten del trigo es el aminoácido más abundante (31%).

Se considera un aminoácido estructural o que participa ampliamente en el esqueleto de las proteínas de gluten. Se ha probado que la adición de la glutamina a una masa de pan no mejora su volumen (Fermin, 2005) (Lasztity, 1981); por lo que su presencia o cantidad no debería afectar al volumen de pan con la enzima transglutaminasa.

#### 1.1.1.4.2 Prolina

La prolina es un aminoácido no esencial y es el único aminoácido cuya amina es secundaria, porque su nitrógeno se ubica dentro de la cadena cíclica; es el segundo aminoácido más abundante en el gluten de trigo (9.4%), y se puede formar desde la glutamina, que es el principal aminoácido en el gluten.

Ilustración 6 Estructura Química de Prolina



También se consideraría como un aminoácido estructural o que participa ampliamente en el esqueleto de las proteínas de gluten, De la misma manera que la glutamina, se ha probado que la adición de la prolina a una masa de pan no mejora



el volumen del pan (Fermin, 2005); por lo que su presencia o cantidad tampoco debería afectar al volumen de pan con la enzima transglutaminasa.

#### 1.1.1.5 Otros aminoácidos

Es importante mencionar que otros aminoácidos han sido relacionados al volumen de pan, de tal manera de saber si pueden relacionarse a las pruebas de pan sin gluten.

Dentro del artículo de Bong.Kyung Koh, además de relacionar de manera contraproducente al volumen del pan a la metionina y fenilalanina; menciona también a la **cisteína** y el **triptófano** (Bong-Kyung & al, 2005).

La relación de la cisteína con la performance del gluten fue confirmada en los años 80, como “una fuerte relación” (Lasztity, 1981); en ese mismo artículo el autor habla también de una “interesante” relación entre la **leucina** y la **isoleucina** con la calidad del pan.

Para simular la estructura del pan, se necesitan diferentes ingredientes que cumplan diferentes funciones, tanto en el aspecto estructural, de la red de gluten; como de la consistencia en el trabajo de la masa o su textura.

Tabla 6 Funciones de los Microingredientes

| Microingrediente                | %           | Funciones   |
|---------------------------------|-------------|---|
| <b>Enzima trans-glutaminasa</b> | 0.05        | Formación de Pseudo Gluten  |
| <b>Monoglicéridos</b>           | 1.0         | Brindar suavidad y evitar la retrogradación de la amilopectina                |
| <b>Goma Xantano</b>             | Entre 1 y 3 | Consistencia de masa; debemos validar adición ideal para cada recurso vegetal |

## 1.1.2 Microingredientes que interaccionan con el gluten

### 1.1.2.1 Enzima transglutaminasa

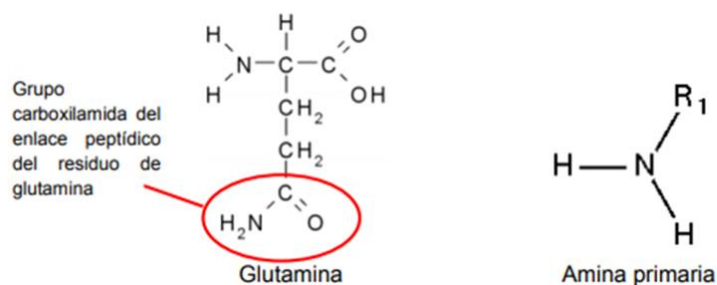
Hace muchos años se utilizó la gelatina como reemplazante del gluten, por ser también una proteína que forma una red y puede soportar agua, azúcar y otros ingredientes dentro de su red (Sciarini, 2010). Realizamos pruebas preliminares, pero la retención de gas es baja y al hornear el producto preparado con gelatina y sin trigo, el producto presenta una textura compacta o no aireada, siendo para el paladar un producto duro y pastoso.

En los últimos años se desarrolló una enzima denominada transglutaminasa, producida en los laboratorios de Biotecnología a partir del cultivo del *Streptomyces cinnamoneum* y *Streptomyces mobaraensis*, en el mercado se conocen como enzima transglutaminasa bacteriana.

La enzima transglutaminasa bacteriana comercialmente se usa en la industria cárnica (hotdog, jamonada, chorizos), láctea (quesos) y panadería (pan) por sus propiedades adhesivas, en otras palabras, en masas que se pueden considerar “sueltas” logra un aumento de viscosidad y consistencia a través de ligar proteínas sueltas.

La actividad de la enzima transglutaminasa se desarrolla en el aminoácido residual que se encuentra ligado al aminoácido “glutamina”, así como su nombre lo indica; la enzima cataliza la reacción entre el grupo carboxilamida del enlace peptídico del residuo de glutamina y una amina primaria (Vergara, 2011).

## Ilustración 7 Estructura Funcional de la enzima transglutaminasa



“El resultado es la generación de un enlace covalente entre dos substratos y la liberación de Amonio. Los enlaces covalentes son mucho más estables que otros tipos de enlaces (electrostáticos, iónicos, enlaces puente de hidrógeno) y no son rotos por calentamientos normales de proceso ni fuerza física.” (Vergara, 2011)



En resumen, esta enzima puede generar diferentes enlaces en los aminoácidos residuales ligados a la glutenina en una cadena proteica; si los enlaces son ordenados se puede generar una pseudo red de gluten; pero, si los nuevos enlaces generados por la enzima son desordenados o no formen una red, pueden estar formando una red demasiado compacta e inadecuada para hacer pan, o un pan con poco volumen (no aireado).

En este sentido, en un pan sin gluten, la adecuada reacción de la transglutaminasa bacteriana para formar una red o pseudo gluten estará relacionada al volumen del pan logrado; y este volumen estará relacionado al tipo y cantidad de aminoácido con que la enzima pueda reaccionar. En esta tesis se espera encontrar alguna relación entre los aminoácidos y el volumen del pan que tienen diferentes fuentes vegetales y que en su receta utilice transglutaminasa bacteriana.

## Inocuidad de la transglutaminasa

Es importante anotar que en la actualidad hay preocupación si es que esta enzima, la transglutaminasa, genera en personas normales la enfermedad celiaca, debido a formar enlaces covalentes, difíciles de romper. Como ocurre en el mercado mundial de alimentos, existen intereses económicos a favor y en contra de las diversas opciones del mercado, que se transforman en publicaciones científicas en la línea que se desea favorecer o desfavorecer algún ingrediente; como puede observarse en las siguientes publicaciones:

“La celiacía podría estar causada por un componente usado para fabricar salchichas o queso”. (Infosalus, 2019)

“Association Between a Common Food Additive and Celiac Disease”. (Foundation, 2019)

“Could this widely used food additive cause celiac disease?” (SciencDaily, 2019)

Para deslindar riesgos a la salud reales y probados, hemos revisado la información pertinente a la enzima transglutaminasa en la “Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios” (GSFA) del Codex Alimentarius, organismo conjunto de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y la OMS (Organización Mundial de la Salud); que representa la visión mundial más real sobre los aspectos de salud e inocuidad de los aditivos, y encontramos la siguiente información:

“Inventario de sustancias utilizadas como Coadyuvantes de Elaboración (ICE), Lista Actualizada; Preparado por Nueva Zelanda; Transglutaminasa (*Streptomyces mobaraense*) – Sin Observaciones” (Alimentarius, 2008)

“Inventario de sustancias utilizadas como Coadyuvantes de Elaboración (ICE), Lista Actualizada; Preparado por Nueva Zelanda; La enzima transglutaminasa (*Streptomyces mobaraense*) se puso al día de la siguiente manera: transglutaminasa (*Streptomyces mobaraensis*) – Sin Observaciones Adicionadas” (Alimentarius, Inventario de Sustancias Utilizadas, 2012)

De acuerdo con la información recopilada actualmente, la enzima transglutaminasa se mantiene en el listado de Aditivos del Codex Alimentarius sin observaciones en contra de la salud o inocuidad; asimismo, analizando los textos que alertan de un posible riesgo de inocuidad, ninguno de ellos concluye que la enzima transglutaminasa es un riesgo adicional para personas que no son alérgicas al gluten.

#### 1.1.2.2 Monoglicéridos

Uno de los ingredientes de la receta del pan, es la manteca o aceite (2.5%), este le transfiere suavidad a la textura del pan, así como retrasa la retrogradación de la amilopectina (que el pan envejezca). La grasa o aceite se dispersa en el gluten a través de la gliadina; esta posee interacciones hidrofóbicas, por lo que permite distribuir y asociar a la red esta grasa. En el caso de un pan sin gluten, se necesita apoyarlo con emulsificantes hidrofóbicos que cumplan ese rol. En este proyecto utilizaremos el emulsificante denominado monoglicéridos para cubrir este rol.

### 1.1.2.3 Goma Xantano

Una de las características notorias de la masa de la harina de trigo es su fácil manipulación, que permite a los panaderos darle la forma que desean, manejarlo con la mano sin que se les pegue, así como mantener la masa unida a pesar del proceso de formación y fermentación.

La goma xantano está ampliamente difundida en el mercado y es una de las gomas con más aplicaciones en diferentes medios de pH y condiciones. Debido a esto, se podría utilizar esta goma en estas pruebas.

Sin embargo, debemos considerar que tanto la transglutaminasa y la goma xantano aumentan la viscosidad de la masa de pan sin gluten, es importante limitar alguna para evitar una viscosidad muy fuerte y reducir el desarrollo del pan (Sciarini, 2010) (Bourekoua, 2018).

Siendo parte de esta tesis una evaluación de las interrelaciones de los aminoácidos con la enzima transglutaminasa, la cantidad de la enzima debe ser fija, para evitar distorsiones en su alcance; pero si se evaluará en 3 niveles la goma xantano con cada ingrediente vegetal, de tal manera de obtener el mejor resultado de pan con un nivel estándar de enzima.

## 1.2 Elaboración del Pan

El 2018 la arqueobotánica Amaia Arranz-Otaegui de la Universidad de Copenhague, descubrió en el yacimiento de "Shubayqa 1" (Jordania) pequeños trozos de cenizas, parecidos a los dejados en una tostadora. Para esa época era extraño esa idea, porque ella estaba recolectando residuos de los alimentos de los

natufianos (tribu de cazadores-recolectores) que vivió en el epipaleolítico hace más de 14,000 años durante. (ZELDOVICH, 2018) (Amaia Arranz-Otaegui, 2018), y no deberían existir esos residuos.

Este descubrimiento generó evidencia empírica sobre productos similares al pan 4.000 años antes del surgimiento del estilo de vida agrícola neolítico. Esto sugiere que hace más de 14,000 años ya se utilizaban cereales silvestres domesticados para producir productos panes aplanados.

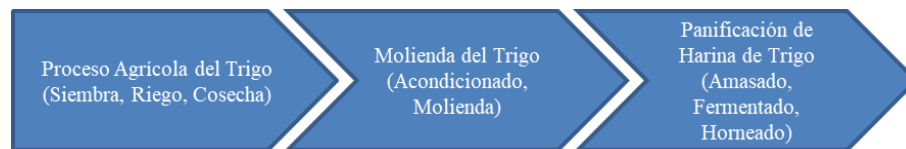
Con el transcurso de los años, el consumo del pan a base de trigo, se desarrolló de manera amplia y vasta, llegando a ser un producto de la canasta básica a nivel mundial; la producción mundial del trigo en el 2019 fue de 767 millones de toneladas, llegando a ser el segundo cereal más producido en el mundo, detrás del maíz (22%) con 1,124 millones de toneladas a producir y por encima del arroz (48%) con 517 millones de toneladas a producir (FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2019).

El mayor productor de trigo en el mundo es China con una producción de 134 millones de toneladas y utiliza un área de 24 millones de Hectáreas para su cultivo (World Atlas, 2019). En el Perú solo contamos con 7,6 millones de Hectáreas cultivables (Diario Gestión, 2019) que compite con la producción local de nuestros recursos y a la necesidad específica del trigo de condiciones agronómicas especiales; lo que define al Perú como un país Importador Neto de trigo; actualmente nuestro país importa más del 90% del trigo para panificación.

Con el devenir de 14,000 años, el desarrollo del proceso de elaboración del pan en base del trigo se ha dado en sus tres procesos principales de la Cadena Productiva:

producción agrícola del trigo, producción de la harina de trigo (molienda) y la panificación en sí.

Ilustración 8: Cadena Productiva del Pan



Sin embargo, la razón principal de su vasto y prolongado desarrollo es el gluten, el cual posee una cualidad única para formar un producto esponjoso, fácil de elaborar con agua y levadura, y sabor característico que se puede combinar fácilmente con ingredientes salados para elaborar un sándwich o incluso tener un sabor dulce y acompañar mermeladas u otros sabores dulces.

Además del gluten, también se destaca el rol de las gomas, denominadas pentosanos, que permite consistencia a la masa, la sencillez de manipulación durante el amasado y acompañan adecuadamente al gluten en la retención de agua durante el amasado y liberación oportuna durante el horneado (Pourmohammadi, 2021) (Matsushita, 2020) (Ahmad, 2013).

### 1.2.1 Pan Tradicional

De manera simple el proceso del pan tradicional se reduce a la mezcla de un ingrediente seco (harina de trigo) y un líquido (agua) que genera la masa del pan, a estos los acompañan otros ingredientes que participan en la fermentación como la levadura, sal, azúcar, o para su suavidad como el aceite o manteca.

Adicionalmente lo complementan otros ingredientes con diferentes funciones de la fermentación, horneado y textura como monoglicéridos, ácido ascórbico entre otros.



Es importante destacar que la cantidad de agua adicionada es crítica en la elaboración del pan; demasiada agua, genera una masa de consistencia pegajosa, difícil de manejar; y la falta de agua genera una masa compacta que tendrá una evolución desfavorable o pan de bajo volumen.

Tanto en la industria de harina de trigo como en las panaderías, donde elaboran el pan, el agua adicionada (respecto a la harina de trigo) se le conoce como “absorción”.

En la panadería artesanal el maestro panadero ajusta la “absorción” del agua, tocando la masa y determinando por experiencia que el agua es suficiente.

En los laboratorios industriales la “absorción óptima” se mide a través de equipos que miden la viscoelastecidad como el Farinografo, Alveografo u otros.

Tabla 7: Receta de Pan Tradicional

| Ingrediente            | Cantidad    | % participación             |
|------------------------|-------------|-----------------------------|
| <b>Harina</b>          | 1000 gramos | 56.8%                       |
| <b>Agua</b>            | 600 gramos  | 34.1 %<br>(60% base Harina) |
| <b>Sal</b>             | 17.6 gramos | 1.0%                        |
| <b>Aceite</b>          | 44 gramos   | 2.5%                        |
| <b>Azúcar</b>          | 70 gramos   | 4.0%                        |
| <b>Levadura</b>        | 26.5 gramos | 1.5%                        |
| <b>Ácido Ascórbico</b> | 1.7 gramos  | 0.1%                        |

Para propósitos de comparación y estandarización de las pruebas en esta tesis, se considerará el nivel de absorción de 60%, como el nivel óptimo de trabajo para una masa de pan con gluten o sin gluten. Asimismo, se elaborará pan tradicional bajo esas condiciones con fines comparativos.

$$Abs = 60 \%$$

Donde: Abs: Cantidad de agua en la masa relativa a la harina o materia seca

### 1.2.2 El valor nutricional del pan tradicional

La popularidad del pan en el mundo es tan amplia, que su producción mundial fue de 83,000 millones de kg en el año 2017 (Close-Up Media, Inc., 2018), llegando a un consumo máximo per cápita de 200 kg en Turquía en el año 2,000.

En Sudamérica los mayores consumidores son Chile y Argentina, con 98 y 83 kg per cápita respectivamente (Crerar, 2013), y a pesar de que en nuestro país (Perú) es aún bajo de 35 kg (SNI IEES, 2018), es de preocupación mundial su contenido nutricional debido al creciente epidemia de obesidad en el mundo.

La Organización Mundial de la Salud aprobó por los estados miembros en mayo de 2004 la Estrategia Mundial sobre Régimen Alimentario, Actividad Física, y Salud mediante la Resolución WHA 57.17 (OMS, 2021), la cual considera no solo la calidad de la alimentación, sino también la orientación en factores de contenido nutricional y la práctica de actividades físicas rutinarias.

En el 2015 la Organización Panamericana de la Salud, emitió un informe en el declaró que “Los alimentos ultra procesados son motor de la epidemia de obesidad en América Latina” (OPS/OMS, 2015), el pan figura como uno de estos alimentos, acompañado de una hamburguesa. La denominación de “ultra procesados” está ligado a productos que, al buscar calidad relacionada a color, rendimiento o apariencia, retiran componentes esenciales del recurso vegetal para lograr el producto deseado, como retirar la mayor cantidad de cáscara del trigo de la harina para obtener una harina muy blanca. Esta diferencia nutricional, debido al proceso, es muy notoria, como se puede observar en la Tabla 8 Contenido Nutricional Harina vs Grano de Trigo, donde las calorías aumentan un 17%, debido al aumento de los

carbohidratos disponibles, al retirar toda la cáscara y reduciendo la fibra dietaría en 78%.

Tabla 8 Contenido Nutricional Harina vs Grano de Trigo

| Nombre                              | Trigo | Harina | % Variación |
|-------------------------------------|-------|--------|-------------|
| <b>Energía kcal</b>                 | 303.0 | 354    | 17%         |
| <b>Humedad, %</b>                   | 11.6  | 10.8   | -7%         |
| <b>Proteínas, %</b>                 | 10.3  | 10.5   | 2%          |
| <b>Grasa total, %</b>               | 1.9   | 2      | 5%          |
| <b>Carbohidratos disponibles, %</b> | 62.5  | 73.6   | 18%         |
| <b>Fibra dietaria, %</b>            | 12.2  | 2.7    | -78%        |
| <b>Cenizas, %</b>                   | 1.5   | 0.4    | -73%        |

Fuente: Tablas Peruanas de composición de alimentos (INS Instituto Nacional de Salud, 2009)

Lamentablemente la reducción de la fibra o aumento de energía debido a los carbohidratos disponibles no es el único factor nutricionalmente débil del pan, sino también resalta su relativa baja proteína para un producto con tanta llegada al público en general. En los últimos años, ha habido un crecimiento masivo de panes con contenidos más saludables (Wood, 2012), de tal manera que se han desarrollado diferentes panes que incluyen quinua (Pacheco Alfaro, 2016) (Bernal Mamani, 2014) (Choque Coaguila, 2017) (Vergara, 2011) (Villanueva Vera, 2017) (Pisfil Gonzales, 2017), kiwicha (Carbajal, 2016) (Curasi Ttito, 2016), sachá inchi (Zavaleta Sandoval, 2013) (Avellaneda Tejada, 2015), moringa (Rojas Ruiz, 2017), chia (Espinoza Eusebio, 2018) (Loayza Rivas, 2017), legumbres (Esquivel Rivera, 2018) (Alvarado Córdova, 2017), algas (Rojas Vera, 2010), entre otros.

### 1.3 El Pan y la enfermedad Celiaca

La enfermedad celiaca es un desorden autoinmune que puede afectar a personas genéticamente predispuestas a esta enfermedad al ingerir principalmente gluten

proveniente de cereales como el trigo, avena, cebada o centeno. Siendo el trigo el principal componente en la elaboración del pan de alto consumo en la población, este se constituye en un reto importante para la industria debido a su contenido de gluten.

Se ha podido determinar a través de paleo-antropología, la existencia de esta patología que se adquiere por predisposición genética, desde hace 5,300 años. La morbilidad es pequeña, en el rango de 1 a 2% de la población; la enfermedad no ha generado ni la desaparición de esta prevalencia genética humana ni tampoco haber eliminado al trigo como recurso alimentario humano.

Las primeras descripciones de los síntomas visibles o más dañinas de la enfermedad celiaca se hicieron en el Siglo II a.c., por Arateus de Cappadocia y en la medicina moderna en 1888, Samuel Gee sugirió la dieta como origen y solución de esta enfermedad.

Recién en 1952 el pediatra holandés Willem Karel Dicke estableció la relación del gluten y la enfermedad celiaca, con lo cual la dieta libre de gluten se estableció como procedimiento estándar para esta enfermedad. La falta de un correcto diagnóstico, debido a que los síntomas iniciales son silentes, así como la falta de un análisis simple no permitió conocer la verdadera magnitud de esta enfermedad por muchos años más, recién en 1997 el gastroenterólogo alemán Detlef Shuppan introdujo un análisis simple primario para detectar pacientes con este desorden autoinmune.

Por todo lo anteriormente vertido, entre los objetivos de esta tesis se encuentra la propuesta de elaborar pan sin gluten a través de recursos vegetales que no contengan

esta proteína, pero que contengan estructuras proteicas que puedan generar un pseudo-gluten para la obtención de pan que no afecte a la salud de las personas sensibles a esta proteína, de tal manera de ofrecer alternativas de consumo, a las personas afectadas por esta enfermedad.

Es importante también indicar que se determinará el costo asociado a las recetas obtenidas, de tal manera de evaluar la factibilidad económica potencial de los productos obtenidos en esta tesis.

### 1.3.1 Alternativa de Harina de Garbanzo como materia seca

Como se mencionó anteriormente debemos utilizar recursos vegetales que contengan proteínas similares al gluten, sin que afecten a las personas que tengan la enfermedad celiaca, y son las legumbres el recurso ideal que contienen este tipo de proteínas.

El reemplazo de la harina de trigo por legumbres no solo por no contener gluten, sino además es beneficioso para el consumidor en dos factores nutricionales, la reducción sustancial del contenido de almidón, desde 72 hasta un 44%; así como el aumento sustancial del contenido proteico, desde 13 hasta un 24%, como lo muestra la Tabla 9 Comparación Nutricional Harina de Trigo y Lentejas o Garbanzo.

Tabla 9 Comparación Nutricional Harina de Trigo y Lentejas o Garbanzo

| Parámetro          | Harina de Trigo | Lenteja    | Garbanzo   |
|--------------------|-----------------|------------|------------|
| <b>Almidón, %</b>  | 71.9            | 48.9±0.22  | 44.3±0.96  |
| <b>Proteína, %</b> | 13.0            | 24.37±0.15 | 20.98±0.21 |
| <b>Cenizas, %</b>  | 0.57            | 2.39±0.04  | 2.30±0.20  |

Fuente: Legume – The alternative raw materials for bread production (Bojňanská, 2012)

Las legumbres como el garbanzo, la lenteja y los frijoles poseen proteínas con estructuras secundarias hélices- $\alpha$ , hojas- $\beta$  y giros-  $\beta$  (Shevkani, 2019) y forman proteínas similares al gluten, denominadas glutelinas (Rajnicová, 2019). Adicionalmente analizando los datos de la estructura proteica de las legumbres (Shevkani, 2019) respecto al contenido de proteínas denominadas glutelinas en legumbres, el contenido de glutelinas en el garbanzo es superior (12.85%) al de las lentejas y vainitas, 4.5 y 9% respectivamente.

Tabla 10 Composición de Proteínas en recursos vegetales

| Muestra  | Alb + Glob | Prolaminas | Glutelinas | Residuales |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| Trigo    | 21.92      | 33.17      | 33.99      | 10.92      |
| Lenteja  | 85.90      | 4.49       | 4.49       | 5.12       |
| Garbanzo | 73.33      | 4.25       | 12.85      | 9.57       |
| Vainita  | 88.47      | 1.05       | 8.95       | 1.53       |

\* Alb+Glob: Albuminas y Globulinas

### 1.3.2 Alternativa de Recursos Vegetales como materia húmeda

Teniendo las legumbres como base seca para formar una base masa para preparar pan, debemos buscar opciones para aportar el agua a esta masa desde un punto de vista más responsable del medio ambiente. El Perú es un país con recursos limitados de agua, el proceso del pan utiliza hasta 50% en peso de agua por cada pan elaborado; normalmente se toma el agua tratada para fabricar pan el cual después es simplemente evaporada.

En búsqueda de un proceso responsable del medio ambiente, se plantea adicionalmente en esta tesis, el uso de menor cantidad de agua o no usar agua en la elaboración del pan; por lo cual planteamos el uso de vegetales frescos que reemplacen el agua adicionada. Adicionalmente como requisito y con objetivos de

desarrollo local, se determina que estos vegetales frescos se produzcan de manera amplia y diversa en las diferentes regiones de nuestro país; el factor de producto local no solo permite un abastecimiento local, sino también obtener un producto de costo atractivo.

Es importante resaltar que el uso de diferentes vegetales frescos permitirá evaluar la elaboración del pan con diferentes niveles del aminoácido tirosina, que se ha determinado como requisito de evaluación de esta tesis.

En resumen, los recursos vegetales frescos que proponemos evaluar en esta tesis y que acompañen a la harina de garbanzo en las pruebas, deberán cumplir estos dos requisitos: poseer un nivel diferente de aminoácido tirosina entre ellos y ser un producto de amplia producción en nuestro país.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

El principal objetivo es determinar la relación entre la transglutaminasa bacteriana y el contenido de fenilalanina, metionina y tirosina en diferentes fuentes vegetales.

### Objetivos Específicos

- Determinar el perfil de aminoácidos de los recursos propuestos
- Determinar la similitud de las funciones de los ingredientes para la elaboración de pan sin gluten.
- Determinar la correlación del contenido de aminoácidos y el volumen del pan
  - Determinar el contenido de los aminoácidos de las recetas propuestas.
  - Determinar del volumen de pan de las recetas propuestas
  - Determinar la correlación del volumen del pan con los aminoácidos de las recetas propuestas.
- Seleccionar recursos vegetales de las distintas regiones naturales del Perú que representan alternativas de ingredientes del pan sin gluten.
  - Determinar el Valor Nutricional de los ingredientes



- Determinar el Costo los productos y su acceso o factibilidad
- Determinar las alternativas del pan sin gluten.

## MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Material Biológico:

#### 3.1.1 Microingredientes a identificar

##### 3.1.1.1 Enzima Transglutaminasa

La enzima transglutaminasa es producida en fermentadores industriales con la bacteria *streptovercillium mobaraense*, extraída y purificada para ser vendida en polvo a diferentes concentraciones de acuerdo con el uso industrial.

La enzima utilizada en esta tesis es:

Empresa: “Deutsche Back”

Nombre Comercial: Sternzym PT 100”.

##### 3.1.1.2 Goma Xantano

La goma xantano es un polisacárido producido también en fermentadores industriales con la bacteria *xanthomonas campestris*, extraída, purificada y deshidratada para ser vendida también en polvo de manera pura.

En esta tesis se obtuvo la muestra de:

Empresa: Qingdao Hengke Fine Chemicals Co.

Nombre Comercial: Goma Xantano

#### 3.1.2 Recurso Vegetal como material seco

##### 3.1.2.1 Garbanzo (*Cicer arietinum*)

El garbanzo es una legumbre originaria de Turquía y es cultivada en Perú y Bolivia, en el 2015 la producción llegó a 2348 toneladas y es la novena leguminosa con mayor producción en el Perú.

Clasificación taxonómica (Ñopo, 2018):

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Fabales  
Familia: Fabaceae  
Género: *Cicer*  
Especie: *Cicer arietinum*

### 3.1.3 Recursos Vegetales Frescos como materiales húmedos

#### 3.1.3.1 Zapallo (Cucurbita máxima)

El zapallo es una planta domesticada hace más de 6,000 años en los andes peruanos, que se puede observar representaciones de este en los cerámicos de la Cultura Chimú; esta cultura fue uno de los grandes difusores de este cultivo.

La clasificación botánica del zapallo de acuerdo con sus características es (Leiva, 2015):

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Familia: Cucurbitaceae Juss., nom cons.  
Género: *Cucurbita* L.  
Especie: *Cucurbita maxima*

#### 3.1.3.2 Camote (Ipomoea batatas)

El *Ipomoea batatas* o camote fue domesticado hace más de 8,000 mil años en la región neotropical de Sudamérica, que comprende las áreas de Perú, Ecuador y Colombia y las Antillas. Se ha encontrado restos de este tubérculo en el Sur de Lima, en Chilca con cerca de 10,000 años de antigüedad, y se cree que fue domesticado en las zonas de Ayacucho.

En esta tesis utilizaremos la variedad de camote Amarillo, la clasificación botánica del camote comprende (Huaman, 1999):

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Solanales  
Familia: Convolvulaceae  
Tribu: Ipomoeae  
Género: *Ipomoea*  
Sub-Genero: Eriospermum  
Especie: *Ipomoea Batatas*

#### 3.1.3.3 Papa (*Solanum tuberosum*)

La papa es por excelencia el cultivo domesticado en el Perú con mayor impacto económico, alimenticio y beneficios que nuestros antepasados han dado al mundo. Actualmente es uno de los cultivos más ampliamente procesados en el mundo, siendo actualmente la tercera cosecha más grande del mundo

La clasificación botánica de la papa es (Ministerio del Ambiente - Perú, 2019):

Reino: Plantae  
División: Angiosperma Linneo  
Clase: Eudicotyledoneae  
Subclase: Asteridae  
Orden: Solanales  
Familia: Solanaceae  
Género: *Solanum*  
Especie: *Solanum tuberosum*

#### 3.1.3.4 Maíz Choclo (*Zea Mays*)

En el Perú el maíz denominado Choclo, se refieren al maíz tierno, la variedad más común y conocida es el choclo serrano, que se siembra en Cuzco, Huaraz, Tarma, Huancayo y Junín; al ser el producto más ampliamente difundido.

La clasificación taxonómica del maíz es (Ambiente, 2018):

Reino: Plantae  
División: Angiospermae  
Clase: Monocotyledoneae  
Subclase: Commelinidae  
Orden: Poales  
Familia: Poaceae  
Subfamilia: Panicoideae  
Tribu: Andropogoneae  
Género: *Zea*  
Especie: *Zea Mays*

### 3.1.3.5 Plátano (*Musa paradisiaca*)

El plátano es uno de los primeros cultivos domesticados en el mundo hace más de 10,000 años, pero recién hace 2,000 años se modificó a como se consume actualmente; se cree que la planta, en ese tiempo, sufrió una mutación que generó una fruta sin semillas, esta mutación se llevó a cabo en el sureste de Asia; debido a esta mutación y no tener semillas las plantas, los agricultores tuvieron que reproducirla por el sistema denominado corte

La clasificación taxonómica del plátano es (Mozombite, 2019):

Reino: Plantae  
Filo: Tracheophyta  
Clase: Liliopsida  
Orden: Zingiberales  
Familia: Musaceae  
Género: *Musa*  
Especie: *Musa Paradisiaca*

### 3.1.4 Equipos para llevar a cabo los Procesos

#### 3.1.4.1 Equipos de Particulado de los Recursos Vegetales

- Cuchillo de 20 cm de acero inoxidable
- Pelador de acero inoxidable

- Licuadora de acero inoxidable marca IMACO modelo BLS850, con potencia de 850 watts y cuchilla de 6 espas de acero inoxidable.

#### 3.1.4.2 Equipos de Panificación

- Refrigerador Panasonic
- Balanza de Precisión de 0.01 g marca Sartorius
- Tazón de acero inoxidable de 4.8 litros
- Bandejas de aluminio
- Batidora KitchenAid Semi-Industrial
- Horno Electrico marca Miray con termómetro digital.

#### 3.1.5 Materiales y equipos para análisis proximal

##### 3.1.5.1 Reactivos

- Hidróxido de sodio en pellets (Merck) P.A.
- Ácido sulfúrico al 99% (Merck) P.A.
- Ácido clorhídrico al 37% (Merck) P.A.
- Tartrato de sodio y potasio (Merck) P.A.
- Ácido ascórbico (Merck) P.A.
- Bisulfito de sodio (Riedel – de Haen) P.A.
- Fenol (Merck) P.A.
- Carbonato de sodio sólido (Riedel – de Haen) P.A.
- Agua destilada

### 3.1.5.2 Material de laboratorio

- Capsulas porcelana
- Tubos de ensayo
- Sistema de extracción Soxhlet
- Equipo de reflujo
- Balones de digestión
- Vasos de precipitación
- Bureta de 25 ml
- Probeta de 500 ml
- Equipo de reflujo
- Matraces de 250 ml
- matraces aforados de 100 ml
- Cubetas de cuarzo

### 3.1.5.3 Instrumentos

- Plancha de calentamiento Sartorius
- Balanza analítica SARTORIOUS
- Campana extractora de gases FH1200X
- Estufa Memmert
- Mufla Memmert
- Espectrofotómetro UV-VIS Mini 1240 Shimadzu.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Preparación del Recurso Vegetal

#### 3.2.1.1 Selección

Todos los recursos vegetales fueron inspeccionados de tal manera de que no tengan presencia de insectos, hongos o daños importantes. Todos los productos estaban frescos y en su tiempo de maduración para su consumo

#### 3.2.1.2 Limpieza

Los recursos vegetales fueron limpiados según sus características:

- El zapallo fue lavado y su cáscara dura fue retirado con un pelador de acero inoxidable.
- Las papas y los camotes fueron lavados con agua y cepillo para retirar los vestigios de tierra, y cualquier daño menor en su cáscara fue retirado.
- El choclo fue lavado y desgranado.
- El plátano fue pelado y separado de partes sobre maduras.

#### 3.2.1.3 Licuado

El recurso vegetal fue dividido en partes pequeñas y licuado hasta obtener una pasta suave y uniforme, sin presencia de partículas gruesas.

### 3.2.2 Método de Panificación

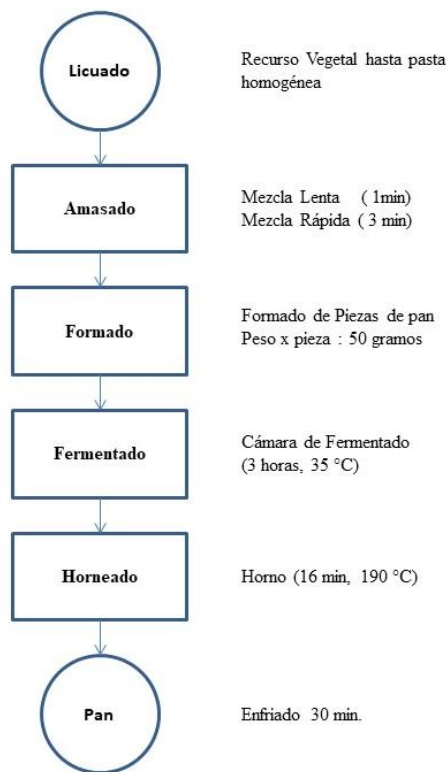
El método de Panificación utilizado es lo que se denomina “Masa Directa”, este método no utiliza pasos previos a la panificación, como masa madre, cabe resaltar



que el proceso inicial se limpia y pela (si aplica) el recurso vegetal, y se corta en pedazos pequeños para ser licuado hasta que se muestre con una masa homogénea.

Esta masa es mezclada con los ingredientes secos y los microingredientes asignados y mezclado hasta formar una masa panificable; de la cual se hacen bollos de 50 gramos para el horneado.

Debemos destacar que bajo este procedimiento el peso de cada bollo del pan se convierte en una constante, de tal manera que podemos comparar el volumen del pan, sin necesidad de establecer una densidad relativa.



### 3.2.3 Recetas para Pruebas

Es importante recordar que, con el fin de estandarizar las masas de pan sin gluten, se determinó que la absorción de las masas se mantendrá en (60%), por lo que es

importante calcular la proporción del ingrediente seco (garbanzo) y el ingrediente húmedo (recurso vegetal fresco) para mantener la misma absorción, este cálculo lo hemos denominado el balance hídrico

### 3.2.3.1 Cálculo de Balance Hídrico

Como se comentó en la sección anterior, es imprescindible para poder comparar o emparejar las condiciones de la panificación sin gluten, establecer la proporción o balance de los ingredientes secos y húmedos, de tal manera que posean la misma absorción o contenido de agua.

Para eso restaremos la humedad real del recurso vegetal ( $h_{rv}$ ) de la humedad en el punto de equilibrio ( $h_{eq}$ ) para cada recurso vegetal, con lo cual obtendremos lo que se denomina agua libre ( $h_{libre}$ ), estos datos se obtienen de las curvas de adsorción y desorción para cada recurso.

$$h_{libre} = h_{rv} - h_{eq}$$

Donde:

$h_{libre}$ : agua libre

$h_{rv}$ : humedad real

$h_{eq}$ : humedad en el punto de equilibrio

Esta agua libre, ya está definida para las recetas de pan sin gluten, y representa la absorción de la masa (Abs:60%), por lo que calcular la cantidad de Masa de Recurso Vegetal ( $M_{rv}$ ), teniendo la Masa Total (MT), podemos hallarla por esta relación.

$$M_{rv} = \frac{MT * Abs}{(h_{rv} - h_{eq}) * (1 + Abs)}$$

Donde:

$M_{rv}$ : Masa Recurso Vegetal;

$h_{rv}$ : humedad real

$h_{eq}$ : humedad en el punto de equilibrio;  
 MT: Masa Total;  
 Abs: Absorción Panadera (60%)

Obteniendo la porción correspondiente de Masa del Recurso Vegetal ( $M_{rv}$ ) en la receta, es fácil calcular la Masa de Recurso Seco ( $M_{rs}$ , Garbanzo), solo restando de la Masa Total (MT), la cantidad de  $M_{rv}$  encontrada.

$$M_{rs} = MT - M_{rv}$$

$M_{rs}$ : Masa Recurso Seco (garbanzo); MT: Masa Total;  $M_{rv}$ : Masa recurso vegetal

Bajo este esquema de cálculo y utilizando los datos de Humedades de Equilibrio ( $H_{eq}$ ) y la Humedad Real del Recurso Vegetal ( $H_{rv}$ ) de cada alternativa a evaluar en este proyecto, se obtiene las proporciones de Masa de Recurso Vegetal ( $M_{rv}$ ) y la Masa de harina de garbanzo ( $M_{rs}$ ), como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 11 Proporciones Recursos Vegetales y Recurso Seco

| Recurso (RV) | Hrv | Heq | Mrv | Mrs | MT  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Zapallo      | 91% | 9%  | 73  | 87  | 160 |
| Camote       | 65% | 11% | 111 | 49  | 160 |
| Papa         | 83% | 18% | 92  | 68  | 160 |
| Maíz         | 76% | 7%  | 87  | 73  | 160 |
| Plátano      | 70% | 12% | 103 | 57  | 160 |

*MT: Masa Total; Mrs: Masa de Garbanzo; Mrv: Masa recurso vegetal;  
 Heq: Humedad de equilibrio del recurso vegetal; Hrv: Humedad real del Recurso Vegetal*

### 3.2.3.2 Ajuste de Receta para consistencia óptima

Con similar importancia, además de la inclusión de la enzima transglutaminasa bacteriana, se necesita evaluar diferentes niveles de goma xantano para que, de soporte a la masa de pan, tanto en la manipulación y en el horneado y poder determinar un nivel óptimo de viscosidad y se refleje en el volumen del pan.

Debido a que no sabemos cuál es el nivel ideal para cada mezcla de garbanzo con cada recurso vegetal, se evaluarán recetas de pan con 3 niveles de goma xantano 1, 2 y 3%. Esto permitirá determinar el volumen máximo de pan que puede alcanzar la mezcla de vegetales en un nivel estándar de aplicación de la enzima transglutaminasa.

De acuerdo con el balance hídrico de las mezclas de garbanzo y los diferentes recursos vegetales y los diferentes niveles de goma a xantano a probar, estas son las recetas por probar.

Tabla 12 Recetas de Pruebas Garbanzo y Zapallo

| Receta           | SG-Zp1 | SG-Zp2 | SG-Zp3 |
|------------------|--------|--------|--------|
| Zapallo          | 390.5  | 385.9  | 381.4  |
| Transglutaminasa | 0.5    | 0.5    | 0.5    |
| Monoglicerido    | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Sal              | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Aceite           | 25.0   | 25.0   | 25.0   |
| Ácido Ascórbico  | 1.0    | 1.0    | 1.0    |
| Azúcar           | 40.0   | 40.0   | 40.0   |
| Agua             | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Levadura         | 15.0   | 15.0   | 15.0   |
| Garbanzo         | 498.4  | 493.0  | 487.6  |
| Goma Xantano     | 10.0   | 20.0   | 30.0   |

Tabla 13 Recetas de Pruebas Garbanzo y Camote

| Receta           | SG-Cm1 | SG-Cm2 | SG-Cm3 |
|------------------|--------|--------|--------|
| Camote           | 593.0  | 586.1  | 579.1  |
| Transglutaminasa | 0.5    | 0.5    | 0.5    |
| Monoglicerido    | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Sal              | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Aceite           | 25.0   | 25.0   | 25.0   |
| Ácido Ascórbico  | 1.0    | 1.0    | 1.0    |
| Azúcar           | 40.0   | 40.0   | 40.0   |
| Agua             | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Levadura         | 15.0   | 15.0   | 15.0   |
| Garbanzo         | 295.9  | 292.9  | 289.8  |
| Goma Xantano     | 10.0   | 20.0   | 30.0   |

Tabla 14 Recetas de Pruebas Garbanzo y Papa

| Receta           | SG-Pp1 | SG-Pp2 | SG-Pp3 |
|------------------|--------|--------|--------|
| Papa             | 500.8  | 495.0  | 489.3  |
| Transglutaminasa | 0.5    | 0.5    | 0.5    |
| Monoglicerido    | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Sal              | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Aceite           | 25.0   | 25.0   | 25.0   |
| Ácido Ascórbico  | 1.0    | 1.0    | 1.0    |
| Azúcar           | 40.0   | 40.0   | 40.0   |
| Agua             | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Levadura         | 15.0   | 15.0   | 15.0   |
| Garbanzo         | 388.1  | 383.9  | 379.6  |
| Goma Xantano     | 10.0   | 20.0   | 30.0   |

Tabla 15 Recetas de Pruebas Garbanzo y Maiz

| Receta           | SG-Mz1 | SG-Mz2 | SG-Mz3 |
|------------------|--------|--------|--------|
| Maiz             | 464.1  | 458.6  | 453.2  |
| Transglutaminasa | 0.5    | 0.5    | 0.5    |
| Monoglicerido    | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Sal              | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Aceite           | 25.0   | 25.0   | 25.0   |
| Ácido Ascórbico  | 1.0    | 1.0    | 1.0    |
| Azúcar           | 40.0   | 40.0   | 40.0   |
| Agua             | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Levadura         | 15.0   | 15.0   | 15.0   |
| Garbanzo         | 424.8  | 420.3  | 415.7  |
| Goma Xantano     | 10.0   | 20.0   | 30.0   |

Tabla 16 Recetas de Pruebas Garbanzo y Plátano

| Receta           | SG-Pl1 | SG-Pl2 | SG-Pl3 |
|------------------|--------|--------|--------|
| Plátano          | 551.2  | 544.7  | 538.3  |
| Transglutaminasa | 0.5    | 0.5    | 0.5    |
| Monoglicerido    | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Sal              | 10.0   | 10.0   | 10.0   |
| Aceite           | 25.0   | 25.0   | 25.0   |
| Ácido Ascórbico  | 1.0    | 1.0    | 1.0    |
| Azúcar           | 40.0   | 40.0   | 40.0   |
| Agua             | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Levadura         | 15.0   | 15.0   | 15.0   |
| Garbanzo         | 337.7  | 334.2  | 330.7  |
| Goma Xantano     | 10.0   | 20.0   | 30.0   |

### 3.2.4 Métodos para Análisis Proximal

#### 3.2.4.1 Determinación de Humedad: Método gravimétrico.

Pesar 2 gramos de muestra en una cápsula limpia, seca y pesada; colocar en la estufa a 105°C por 2 horas. Retirar de la estufa y colocar en una campana desecadora con sílica seca. Después de 30 minutos, pesar y registrar.

Volver a poner en la estufa por un nuevo periodo de 2 horas, enfriar y volver a pesar. Repetir este proceso hasta que obtenga un peso constante. Hacer por duplicado la prueba para verificar el resultado, de haber diferencia realice una tercera prueba.

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde  $P_i$ : peso inicial de la muestra fresca

$P_f$ : peso final de la muestra deshidratada.

#### 3.2.4.2 Determinación de Fibra cruda: Método gravimétrico

En este método se obtiene un residuo final, que ha resistido la digestión de ácidos y bases diluidas, que denominaremos “indigerible” (celulosa, hemicelulosa, lignina y pentosanos resistentes).

Pesar 1g de muestra, seca y desengrasada, en un vaso de vidrio de 400 ml, y añadir 100 ml de ácido sulfúrico al 1.25%, colocar en la plancha caliente y hervir por 45 min, mantener el nivel del líquido adicionando agua destilada cuando el nivel de la solución baja.

Terminado el proceso de hidrólisis ácida, pasar la solución obtenida por papel filtro whatman #40; lavar el residuo indigerible con agua destilada hirviendo, hasta que el último lavado sea neutro.

Transferir el residuo a un vaso de vidrio de 400 ml y agregar 100 ml de hidróxido de sodio al 1.25%, hervir por 45 min a 80°C. Finalizada la hidrólisis pasar la solución por un papel filtro whatman #40 tarado, y lavar con agua hirviendo hasta que el último lavado sea neutro.

Secar el residuo por tres horas a 105°C en una estufa hasta peso constante. Realice por duplicado este análisis para verificar el resultado, si el resultado varía realizar un tercero para validar.

$$\% \text{ de Fibra} = P_{\text{fibra}} / P_i * 100$$

Donde

$P_{\text{fibra}}$ : Peso Residuo seco;

$P_i$ : peso inicial de la muestra seca.

#### 3.2.4.3 Determinación de Grasas: método Soxhlet

Este método se basa en la extracción continua con solvente orgánico (éter) en un equipo de vidrio denominado Sokhlet; este equipo consta de 3 piezas, la primera parte que se coloca en la parte superior, está conectado a agua fría de tal manera que condensa el éter que se evapora en la pieza inferior; la segunda pieza contiene la muestra envuelta en un dedal de celulosa y recibe el éter líquido que proviene de la parte superior, este éter disuelve la grasa de la muestra vegetal y baja a la pieza inferior; finalmente la pieza inferior reposa sobre una manta calentadora para que

por el efecto del vapor se separe el éter de la grasa, la cual se queda en la última pieza.

Pesar 10 gramos de muestra seca en un dedal de celulosa y colocar en la segunda pieza del equipo de vidrio Soxhlet. Armar el equipo, conectando el agua a la primera pieza y la energía a la manta eléctrica donde reposara la tercera pieza.

Iniciar el sistema y mantenga el ciclo de extracción por 6 horas con una ratio de 5 - 6 gotas por segundo; al completar el tiempo, destilar el éter de la tercera pieza o balón. Reitar el balón del sistema y colocarlo en una estufa a 100°C por 30 min.

Enfriar el balón y el residuo de grasa en una campana desecadora, tomar el peso y descontar el peso del balón, obteniendo el peso de grasa extraído ( $P_g$ ).

$$\% \text{ de grasa} = P_g / P_i * 100$$

Donde:

$P_g$ : Peso de Grasa;

$P_i$  seca: peso inicial de la muestra.

#### 3.2.4.4 Determinación de Proteína: Método de Kjeldahl

El método de Kjeldahl se basa en la hidrólisis completa de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado; con esta reacción todo el contenido de nitrógeno en el material se transforma en sulfato de amonio; este amonio se libera al agregarse hidróxido de sodio a la solución, y captado en una solución de ácido bórico; donde finalmente es titulado con una solución estándar de ácido clorhídrico.



Pesar 1.0 gramos de muestra seca en un balón de Kjeldahl; en este balón además agregar 10 gramos de sulfato de potasio y 0.5 gramos de sulfato de cobre y 15 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Calentar el balón de Kjeldahl con la mezcla con un mechero hasta que la solución se torne clara, en este punto en aproximadamente 2 horas, se considera que toda la materia orgánica se digesto. Pasado este tiempo, se procede a apagar el mechero y se enfría a temperatura ambiente.

Una vez frio, al producto de la digestión agregar 150 ml de agua destilada y 40 ml de NaOH al 50% de manera lenta, evitando el sobrecalentamiento de la solución. Una vez homogenizado agregar perlas de vidrio para obtener una adecuada ebullición.

Colocar el balón de Kjeldahl rápidamente en un equipo de destilación, donde en el lado de recepción de la destilación este un matraz que contenga una solución de ácido bórico al 4% con 5 gotas de indicador de verde de bromocresol. Concluida la destilación se obtiene 150 a 200 ml de solución verde azulada.

Valorar esta solución con HCl 0.1N, previamente normalizado, y titular hasta que la solución cambie a amarillo. La prueba se hace por duplicado para validar el resultado y un blanco para corregir cualquier error o impureza del análisis. Si los resultados no son similares, realizar una tercera prueba de descarte.

$$\% \text{ Proteínas} = \frac{\text{PM} * \text{N} * (\text{T}_m - \text{T}_b) * \text{F} * 100}{\text{Peso de Muestra}}$$

Donde

PM: peso molecular del nitrógeno (14.007);

T<sub>m</sub>: volumen gastado de la muestra;

T<sub>b</sub>: volumen gastado del blanco;

N: normalidad del ácido;

F: factor de conversión (6.25)

#### 3.2.4.5 Determinación de Cenizas: Método gravimétrico.

Pesar 1 gramo de muestra seca en un crisol previamente seco y tarado. Inicialmente quemar las muestras en una plancha a 300°C y luego colocar en la mufla a 600°C por dos horas, la muestra debe observarse libre de carbón, sino incrementar 1 a 2 horas más. Una vez concluido la calcinación, enfriar en una campana desecadora y pesar.

El análisis se realiza por duplicado para validar el resultado, si hubiera diferencia significativa, realizar una tercera muestra.

$$\% \text{ Cenizas} = \text{Peso Cenizas} / \text{Peso Muestra} * 100$$

#### 3.2.4.6 Determinación de Carbohidratos

El cálculo del porcentaje de carbohidratos se obtiene por diferencia del total de la muestra (100%) descontándole los porcentajes de ceniza (inorgánicos), proteína, grasa y fibra.

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - \%C - \%P - \%G - \%F$$

Donde:

%P: porcentaje de proteínas;

%F: Porcentaje de fibras;

%C: Porcentaje de cenizas;

%G: Porcentaje de grasas.

## RESULTADOS

### 4.1 Perfil de aminoácidos de los recursos propuestos

El perfil completo de aminoácidos de los recursos vegetales frescos fue determinado a través de las mismas fuentes de la sección 3.2, donde se determinó previamente el contenido de tirosina para seleccionar las fuentes vegetales que acompañan al garbanzo en las propuestas.

Esta información fue complementada con el perfil de aminoácidos del material seco garbanzo (*Cicer arietinum* L.) (Nestares, 1996) (Iqbal, 2006) (Zia-ul-Haq, 2007) con los cuales se realiza los cálculos de perfil para cada aminoácido en las mezclas, considerando el porcentaje en la mezcla, el contenido total de proteína y la humedad de los ingredientes para el cálculo, con lo cual se obtiene la Tabla 17 Perfil de Aminoácidos de las mezclas

Tabla 17 Perfil de Aminoácidos de las mezclas

| Aminoácido         | Glutamina | Prolina | Metionina | Fenilalanina | Tirosina | Cisteina | Triptofano | Leucina | Isoleucina |
|--------------------|-----------|---------|-----------|--------------|----------|----------|------------|---------|------------|
| Garbanzo & Plátano | 3.5%      | 0.6%    | 0.1%      | 0.8%         | 0.3%     | 0.1%     | 0.1%       | 1.4%    | 0.8%       |
| Garbanzo & Papa    | 5.3%      | 2.0%    | 1.0%      | 2.5%         | 2.2%     | 0.6%     | 0.7%       | 4.3%    | 2.6%       |
| Garbanzo & Camote  | 1.6%      | 0.5%    | 0.1%      | 0.5%         | 0.3%     | 0.0%     | 0.1%       | 0.8%    | 0.4%       |
| Garbanzo & Zapallo | 2.9%      | 0.8%    | 0.2%      | 1.0%         | 0.6%     | 0.5%     | 0.3%       | 1.3%    | 0.8%       |
| Garbanzo & Maiz    | 7.2%      | 3.0%    | 0.7%      | 1.9%         | 1.6%     | 0.7%     | 0.4%       | 4.1%    | 1.6%       |

### 4.2 Similitud de las funciones de los recursos propuestos.

La elaboración del pan presenta singulares requisitos químicos y fisicoquímicos que se han determinado y cubierto a través de diferentes materiales o conceptos; en las

propuestas de pan sin gluten de esta tesis, se ha cubierto los requerimientos de humedad de masa a través del contenido homogéneo de agua (60%); la cobertura funcional de los almidones como complemento de soporte al gluten en la formación de pan con goma xantano

De igual manera se ha cubierto los requisitos proteicos para simular un gluten tanto en proveer proteínas estructurales similares (glutelinas) y un amplio nivel de tirosina, como principal aminoácido responsable de las características del gluten; y finalmente como aporte social la selección de recursos vegetales que se producen en el Perú, que el trigo no representa.

**Tabla 18 Cobertura de Requerimientos del Pan Tradicional**

| Requerimiento         | Tradicional | Propuesta                  |
|-----------------------|-------------|----------------------------|
| Absorción de Agua     | 60%         | Balance Hídrico            |
| Almidones Funcionales | Pentosanos  | Goma Xantano               |
| Proteínas             |             |                            |
| Estructurales         | Gluten      | Pseudo Gluten (Glutelinas) |
| Contenido de triosina | 2.2%        | 0.5 - 6.1%                 |
| Producción Nacional   | No          | Si                         |

*\*Tradicional: Harina + Agua*

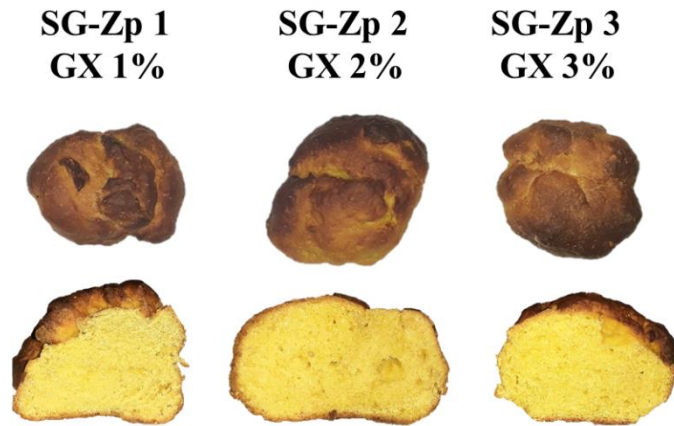
#### 4.3 Correlación del contenido de aminoácidos y el volumen del Pan

##### 4.3.1 Determinación del volumen del pan sin gluten

###### 4.3.1.1 Zapallo y Garbanzo

Las pruebas de panificación con zapallo y garbanzo generan unos panes con un color de corteza pardo característico a un pan, y la miga presenta un color amarillo intenso, brindado por el zapallo. Su textura es agradable y una miga con poros pequeños pero regulares. Su sabor es suave por lo que lo consideramos un sabor neutro.

Ilustración 9 Panes de Zapallo + Garbanzo

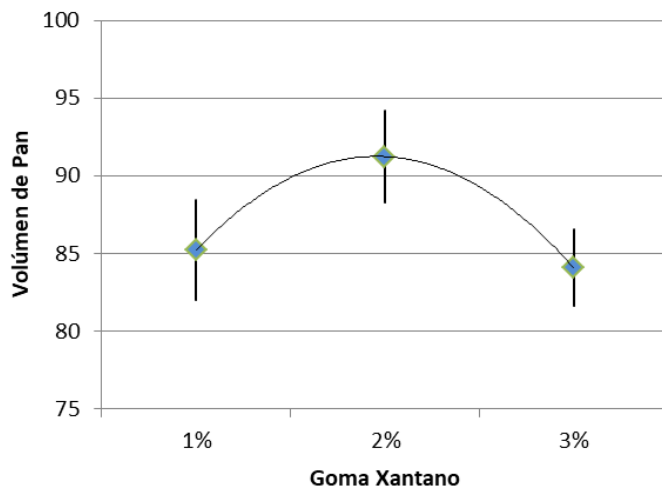


La prueba SG-Zp 1 con 1% de goma xantano, muestra una forma paralelepípeda con ligera contracción en la parte inferior. La prueba SG-Zp2, que contiene 2% de goma xantano, presenta el mayor volumen de pan, con 91 centímetros cúbicos, presenta forma ovalada extendida. Y la prueba SG-Zp 3 con 3 % de goma xantano muestra una forma redondeada y menos extendida que la segunda prueba.

Ilustración 10 Volumen Pan Zapallo + Garbanzo + Goma Xantano (variable)

| GX | Vol   |
|----|-------|
| 1% | 85.22 |
| 2% | 91.23 |
| 3% | 84.06 |

| Prueba t-student |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Data             | t     | %     |
| t1,2             | -2.76 | 98.0% |
| t2,3             | 3.75  | 99.3% |



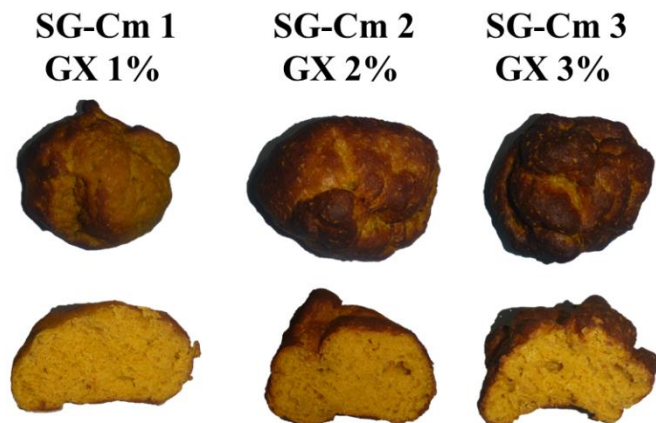
#### 4.3.1.2 Camote y Garbanzo

Las pruebas de panificación con camote y garbanzo generan unos panes de corteza con color pardo característico, y su miga de color naranja suave, brindado por el camote; su textura es agradable y una miga con poros pequeños.

El sabor de los panes es característico al camote, con cierto dulzor, sintiéndose agradable, sin rechazo o sabor fuerte.

La prueba SG-Cm 1 presenta una forma ovalada pero achatada, la prueba SG-Cm 2 presenta una forma más redondeada y con deformaciones pequeñas en la base superior, y la prueba SG-Cm 3 muestra una forma ovalada con base cóncava grande, mostrando un exceso de fuerza en la masa que genera la contracción.

Ilustración 11 Panes de Camote + Garbanzo

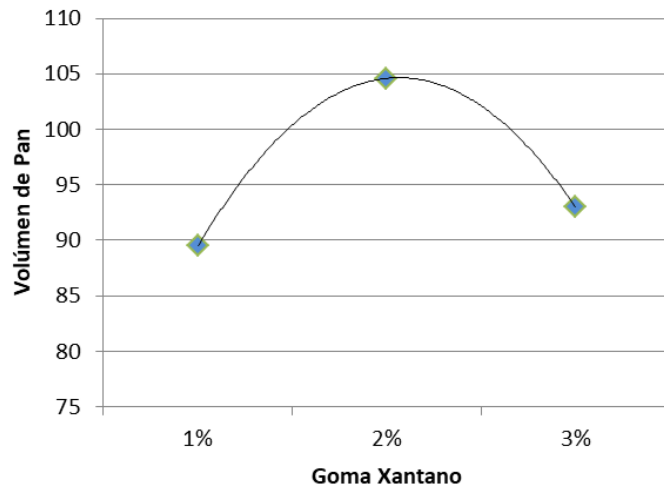


La prueba SG-Cm 2, que contiene 2% de goma xantano, presenta el mayor volumen de pan, de 105 centímetros cúbicos.

Ilustración 12 Volumen Pan Camote + Garbanzo + Goma Xantano (variable)

| GX | Vol    |
|----|--------|
| 1% | 89.48  |
| 2% | 104.59 |
| 3% | 92.97  |

| Prueba t-student |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Data             | t     | %     |
| t1,2             | -5.38 | 99.9% |
| t2,3             | 3.04  | 98.9% |



#### 4.3.1.3 Papa y Garbanzo

Las pruebas de panificación con papa y garbanzo generan unos panes con corteza de color parda oscura y la miga de color crema parduzca. El sabor del pan es característico a la papa, siendo este sabor uno de los más fuertes en las pruebas y su textura es agradable presentando una miga con poros pequeños pero regulares.

Ilustración 13 Panes de Papa + Garbanzo

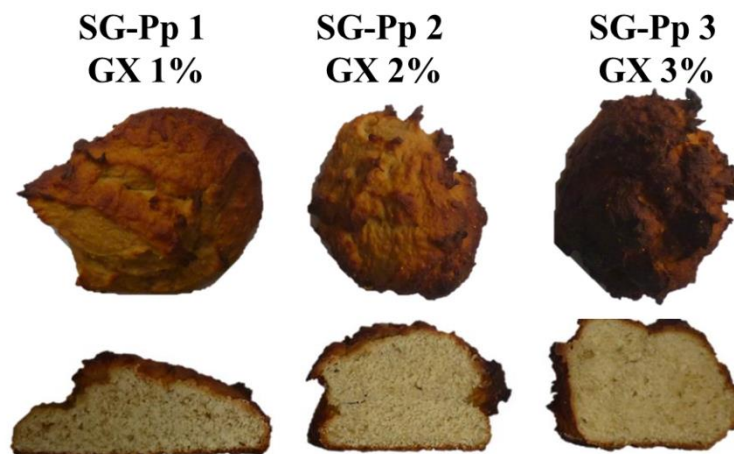
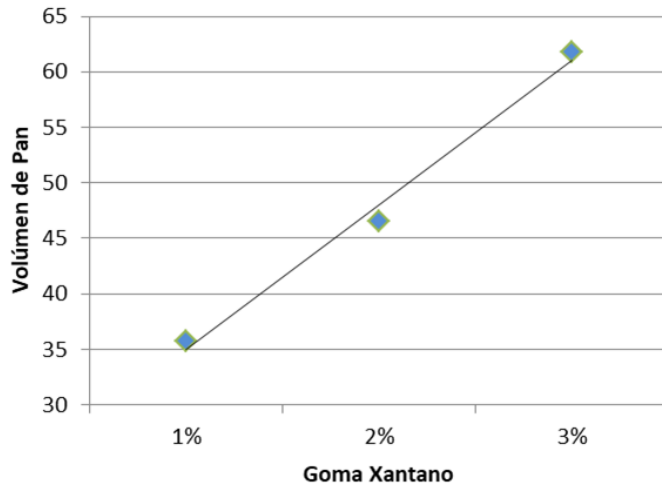


Ilustración 14 Volumen Pan Papa + Garbanzo + Goma Xantano (variable)

| GX | Vol   |
|----|-------|
| 1% | 35.69 |
| 2% | 46.52 |
| 3% | 61.75 |

| Prueba t-student |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Data             | t     | %     |
| t1,2             | -3.61 | 99.2% |
| t2,3             | -3.39 | 98.6% |



La prueba SG-Pp 1 con 1% de goma xantano, se muestra plano y poco desarrollo, la prueba SG-Pp 2 muestra una forma ovalada con contracciones laterales y la prueba SG-PP 3 que contiene 3% de goma xantano, presenta el mayor volumen de pan, de 62 centímetros cúbicos.

#### 4.3.1.4 Maíz y Garbanzo

Las pruebas de panificación con maíz y garbanzo generan unos panes de color de corteza pardo característico al pan y su miga de color crema claro, muy parecido al pan tradicional; su textura es agradable y una miga con poros pequeños pero regulares.

Su sabor presenta un sabor a maíz característico, pero suave; no presenta sabores fuertes o extraños, se considera un sabor aceptable.

La prueba SG-Mz 1, que contiene 1% de goma xantano, presenta una forma más pequeña y aplanada en la base; la prueba SG-Mz 2 presenta una forma ovalada pero achatada a los lado; y la prueba SG-Mz 3 presenta una forma ovalada pero más



desarrollada siendo la prueba con maíz de mayor volumen de pan, de 69 centímetros cúbicos. Este conjunto de pruebas presenta las menores diferencias entre pruebas.

Ilustración 15 Panes de Maíz + Garbanzo

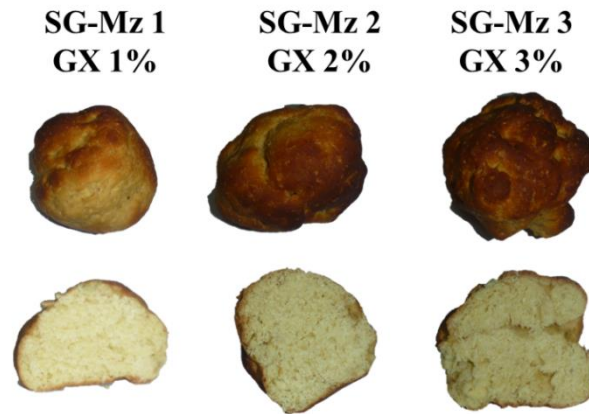
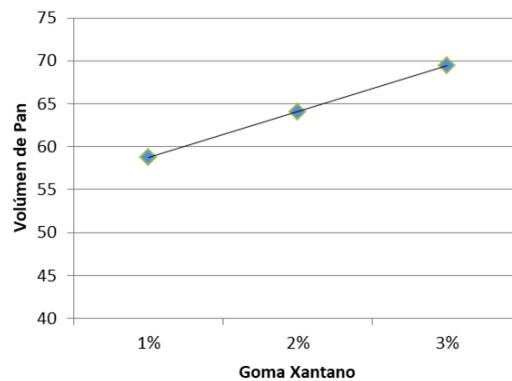


Ilustración 16 Volumen de Pan de Maíz + Garbanzo a diferentes niveles de Goma Xantano

| GX | Vol   |
|----|-------|
| 1% | 58.74 |
| 2% | 64.01 |
| 3% | 69.46 |

| Prueba t-student |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Data             | t     | %     |
| t1,2             | -1.65 | 92.5% |
| t2,3             | -1.39 | 89.3% |
| t1,3             | -3.37 | 98.6% |



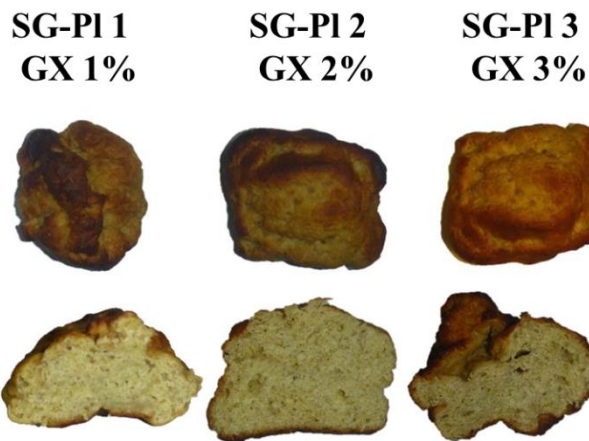
#### 4.3.1.5 Plátano y Garbanzo

Las pruebas de panificación con plátano y garbanzo generan unos panes de corteza con color pardo característico y su miga es de color crema amarillento, brindado por el plátano.

El sabor de los panes es característico al plátano, con cierto dulzor, sintiéndose agradable. La textura del pan es agradable y presenta una miga con poros pequeños pero regulares.

La prueba SG-PI 1 presenta base cóncava, y la prueba SG-PI 3 presenta sus bases superior e inferior cóncavas, mostrando un exceso de fuerza en la masa que genera la contracción.

Ilustración 17 Panes de Plátano + Garbanzo

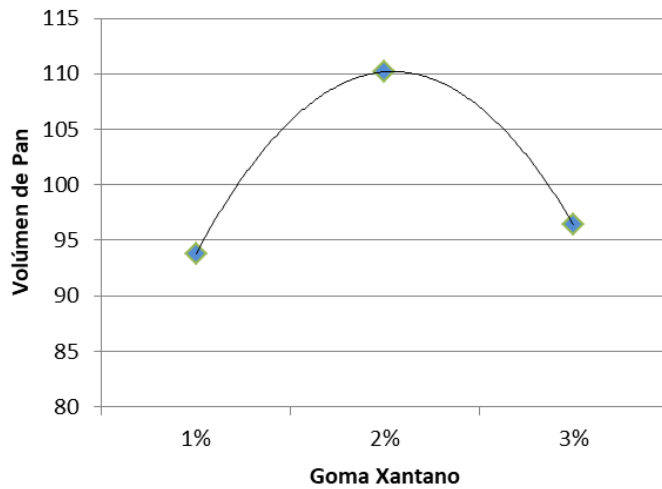


La prueba SG-PI 2, que contiene 2% de goma xantano, presenta el mayor volumen de pan, de 110 centímetros cúbicos, siendo las pruebas de pan sin gluten con mayor volumen de pan logrado.

Ilustración 18 Volumen Pan Plátano + Garbanzo + Goma Xantano (variable)

| GX | Vol    |
|----|--------|
| 1% | 93.83  |
| 2% | 110.17 |
| 3% | 96.39  |

| Prueba t-student |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Data             | t     | %     |
| t1,2             | -2.34 | 96.7% |
| t2,3             | 2.22  | 96.1% |



4.3.1.6 Selección de pruebas sin Gluten

De acuerdo con las pruebas individuales, se selecciona la receta con el mayor volumen de pan obtenido por cada recurso vegetal, la que de ahora en adelante será la receta representativa del recurso vegetal.

Tabla 19 Resultados Volumen de Pan en consistencia óptima

| Recurso Vegetal | Prueba Selecc. | Volumen (cc) |
|-----------------|----------------|--------------|
| <b>Plátano</b>  | <b>SG-PI 2</b> | <b>110</b>   |
| <b>Camote</b>   | <b>SG-Cm 2</b> | <b>105</b>   |
| <b>Zapallo</b>  | <b>SG-Zp 2</b> | <b>91</b>    |
| <b>Maíz</b>     | <b>SG-Mz 3</b> | <b>70</b>    |
| <b>Papa</b>     | <b>SG-Pp 3</b> | <b>62</b>    |

Es importante destacar, que la mejor referencia de volumen de pan es el volumen del pan tradicional, el cual se preparó bajo la misma receta base para que sirva como referencia.

Esto permite obtener una percepción más real del resultado respecto a un pan consumido en el mercado actual, tal como se puede visualizar en la siguiente tabla.

Tabla 20 Comparativo Pan Tradicional vs Pan Sin Gluten

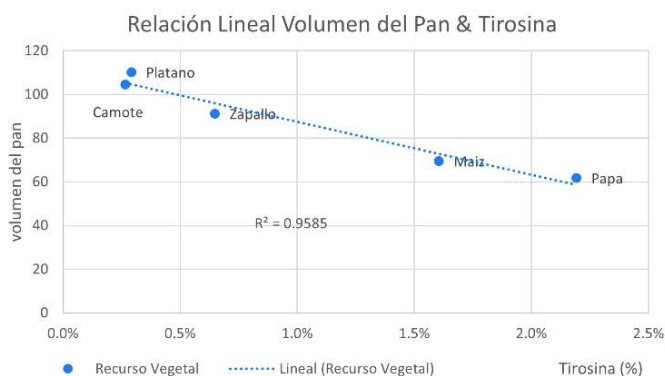
| Receta                    | Volumen ml | Relación % |
|---------------------------|------------|------------|
| <b>Pan Tradicional</b>    | 141.5      |            |
| <b>Plátano + Garbanzo</b> | 110.2      | 78%        |
| <b>Camote + Garbanzo</b>  | 104.6      | 74%        |
| <b>Zapallo + Garbanzo</b> | 91.2       | 64%        |
| <b>Maíz + Garbanzo</b>    | 69.5       | 49%        |
| <b>Papa + Garbanzo</b>    | 61.8       | 44%        |

#### 4.3.2 Correlación del contenido de aminoácido y el volumen del pan

Se analiza la relación entre el contenido de un aminoácido en la Tabla 17 Perfil de Aminoácidos de las mezclas y el volumen del pan sin gluten obtenido en la Tabla 19 Resultados Volumen de Pan en consistencia óptima.

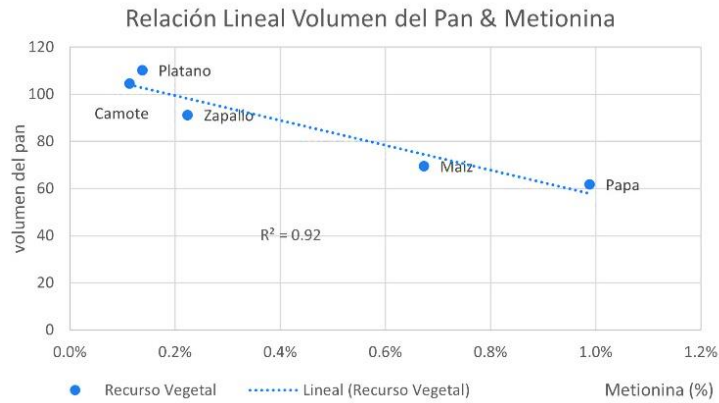
##### 4.3.2.1 Relación de la tirosina y el volumen del pan

La relación lineal del aminoácido tirosina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, en otras palabras, a mayor contenido de tirosina menor volumen de pan; con una correlación ( $R^2$ ) de 0.9585, siendo la mayor relación encontrada.



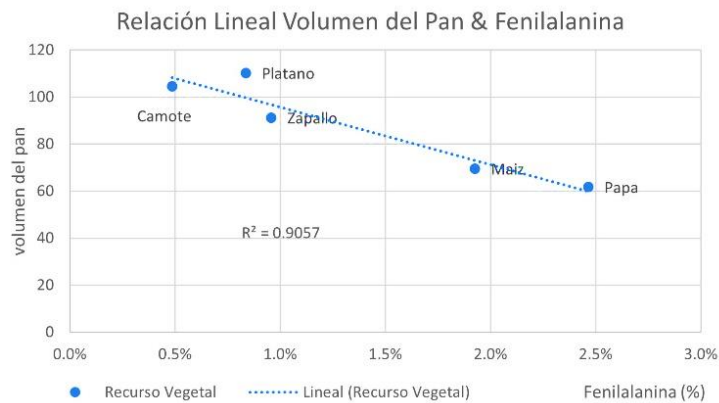
#### 4.3.2.2 Relación de la metionina y el volumen del pan

La relación lineal del aminoácido metionina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de metionina menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.92



#### 4.3.2.3 Relación de la fenilalanina y el volumen del pan

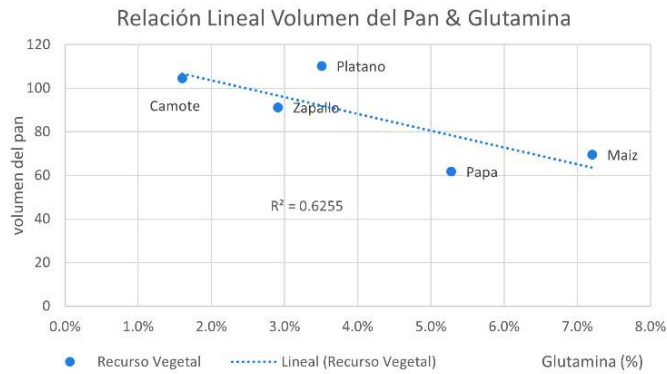
La relación lineal del aminoácido fenilalanina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de fenilalanina menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.9057



#### 4.3.2.4 Relación de Aminoácidos estructurales con el volumen del pan

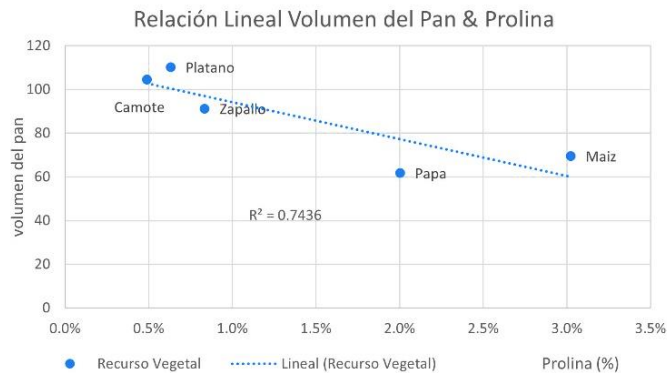
##### 4.3.2.4.1 Glutamina

La relación lineal del aminoácido glutamina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de glutamina menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.6255



##### 4.3.2.4.2 Prolina

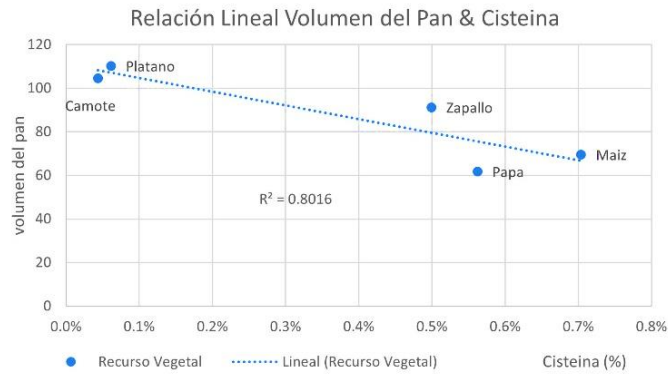
La relación lineal del aminoácido prolina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de prolina menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.7436



#### 4.2.3.5 Relación de otros aminoácidos y el volumen del pan

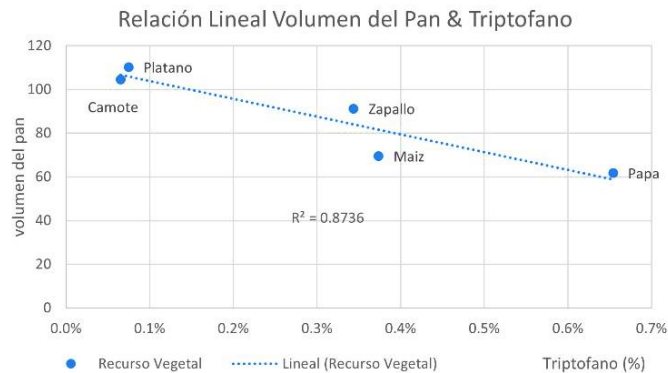
##### 4.2.3.5.1 Cisteína

La relación lineal del aminoácido cisteína y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de cisteína menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.8016.



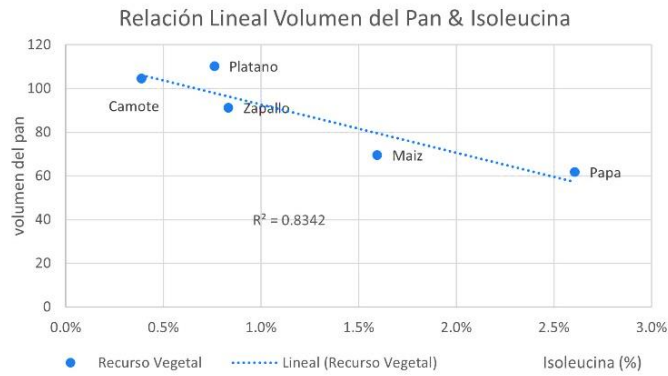
##### 4.2.3.5.2 Triptofano

La relación lineal del aminoácido triptofano y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de triptofano menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.8736.



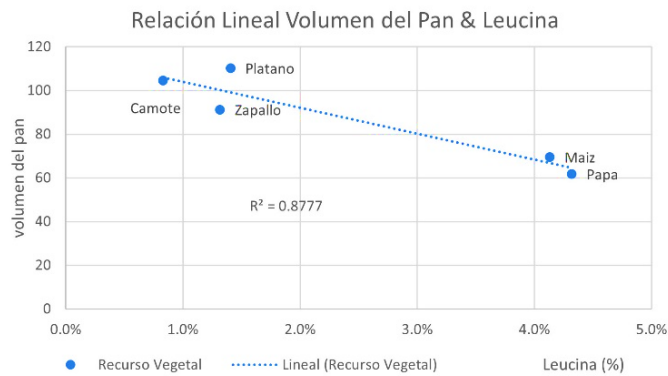
#### 4.2.3.5.3 Isoleucina

La relación lineal del aminoácido isoleucina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de isoleucina menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.8342.



#### 4.2.3.5.4 Leucina

La relación lineal del aminoácido leucina y el volumen del pan, presenta una pendiente negativa o inversa, a mayor contenido de leucina menor volumen de pan; y una correlación ( $R^2$ ) de 0.8777.





#### 4.4 Recursos vegetales de las distintas regiones naturales del Perú que representan alternativas de pan sin gluten

##### 4.4.1 Valor Nutricional

Con los resultados obtenidos y las recetas seleccionadas para cada conjunto de recursos vegetales se realizó el análisis proximal de los productos de panificación sin gluten en contenido de carbohidratos, proteínas, grasas, cenizas y fibra obteniendo los siguientes resultados

Tabla 21 Análisis Proximal de Pruebas de Pan Sin Gluten

| Parámetro            | Pan         |         |      |        |      |         |
|----------------------|-------------|---------|------|--------|------|---------|
|                      | tradicional | Zapallo | Papa | Camote | Maiz | Plátano |
| <b>Carbohidratos</b> | 84%         | 67%     | 69%  | 72%    | 72%  | 75%     |
| <b>Proteínas</b>     | 9%          | 16%     | 16%  | 14%    | 14%  | 15%     |
| <b>Grasa</b>         | 3%          | 6%      | 4%   | 4%     | 5%   | 3%      |
| <b>Cenizas</b>       | 3%          | 4%      | 4%   | 4%     | 2%   | 1%      |
| <b>Fibra</b>         | 1%          | 8%      | 7%   | 6%     | 7%   | 6%      |

##### 4.4.2 Costo y Factibilidad de las propuestas

Se determino los costos de acuerdo a los precios del mercado para cada ingrediente, para cada receta representativa en base a un paquete de pan de 200 gramos, debido a que en el mercado se comercializa en esa medida y podemos comparar de manera sencilla

Se adjunta a los costos los resultados de volumen de pan y su comparación versus un pan tradicional para evaluar cuan lejos o cerca se encuentra de un pan comercial.

El precio de una marca comercial de 20 gramos se encuentra entre 9 y 12 soles.

Tabla 22 Volumen de Pan y Costos de Propuestas

| Receta                    | Volumen<br>ml | Relación<br>% | Costo S/.<br>(200 g) |
|---------------------------|---------------|---------------|----------------------|
| <b>Plátano + Garbanzo</b> | 110.2         | 78%           | 3.36                 |
| <b>Camote + Garbanzo</b>  | 104.6         | 74%           | 3.06                 |
| <b>Zapallo + Garbanzo</b> | 91.2          | 64%           | 3.20                 |
| <b>Maíz + Garbanzo</b>    | 69.5          | 49%           | 4.00                 |
| <b>Papa + Garbanzo</b>    | 61.8          | 44%           | 3.00                 |

#### 4.4.3 Recetas de pan sin gluten

Finalmente, con la selección de receta por recurso vegetal podemos establecer un cuadro comparativo completo de las recetas seleccionadas que brinda información de calidad del pan (volumen relativo, proteínas, fibra) y costo, donde podemos apreciar rangos de volumen relativo de pan entre 44 y 78%, contenido de proteínas ente 14 y 16%, contenido de fibra entre 6 y 8% y costos entre 3 y 4 soles.

Tabla 23 Resumen de Características y Costos de Pruebas

| Recurso Vegetal | Prueba Selecc. | Proteínas<br>% | Fibra<br>% | Relación<br>Volumen % | Costo S/.<br>(200 g) |
|-----------------|----------------|----------------|------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Plátano</b>  | <b>SG-Pl 2</b> | 15             | 6          | 78%                   | 3.36                 |
| <b>Camote</b>   | <b>SG-Cm 2</b> | 14             | 6          | 74%                   | 3.06                 |
| <b>Zapallo</b>  | <b>SG-Zp 2</b> | 16             | 8          | 64%                   | 3.20                 |
| <b>Maíz</b>     | <b>SG-Mz 3</b> | 14             | 7          | 49%                   | 4.00                 |
| <b>Papa</b>     | <b>SG-Pp 3</b> | 16             | 7          | 44%                   | 3.00                 |

## DISCUSIÓN

### 5.1 Perfil de aminoácidos de los recursos propuestos

Con la información recopilada se puede determinar el perfil completo del de garbanzo y recursos vegetales frescos seleccionados. Por ejemplo, en el caso del aminoácido tirosina muestran un rango amplio desde 0.5 hasta 4.7%, conteniendo el gluten un nivel de tirosina de 2.2%.

Estamos seguros de que la variedad de vegetales permite observar la interacción de la tirosina y otros aminoácidos con la enzima transglutaminasa con el volumen del pan en un rango amplio y aceptable para establecer una relación lineal.

### 5.2 Similitud de las funciones de los recursos propuestos

Los requerimientos químicos y fisicoquímicos reconocidos para simular un pan sin gluten han sido cubiertos con alternativas naturales, la equivalencia es discutible por los complejos requerimientos de la elaboración del pan.

La Absorción de agua en la masa de pan se estableció en 60%, la cual es cerca al ideal a una mezcla de harina y agua; aunque es cierto que el cálculo del balance hídrico provee la cantidad suficiente de agua libre para la mezcla, se desconoce por completo la capacidad de absorción de los componentes hidrofílicos de la masa preparada, en palabras simples “la pelea por el agua libre”.

Los componentes hidrofílicos de una masa de pan son tanto las proteínas, los almidones y las gomas naturales de cada recurso vegetal por lo que es muy complejo determinar si está en su nivel óptimo de contenido de agua.

Sin embargo, esta misma absorción de agua de cada componente se reflejará en el horneado al liberar el agua de su estructura, lo que implica que la medición del volumen del pan será también una evaluación indirecta de la función de absorción de agua de cada componente de la mezcla.

En general se ha cubierto los componentes funcionales de proteínas, almidones e incluso aminoácidos esenciales en las recetas propuestas, será el resultado del pan el que finalmente indique que estos elementos funcionales combinados puedan reemplazar con éxito las funciones del gluten en la elaboración del pan.

### 5.3 Correlación de los aminoácidos con el volumen del Pan

#### 5.3.1 Determinar el contenido de los aminoácidos de las recetas propuestas

Se pudo determinar el contenido de las recetas propuestas considerando el contenido de humedad de los recursos vegetales secos y húmedos, así como la proporción que se utiliza en las recetas.

Los rangos obtenidos son amplios, que van a permitir establecer una linealidad, por ejemplo, el rango final tirosina para las mezclas es entre 0.3 y 2.2% un rango de 7 veces el contenido respecto al menor valor.

El rango más pequeño se encuentra en el aminoácido Isoleucina que solo presenta un rango de 4 veces el contenido de menor valor, esto se tomara en cuenta para determinar la relevancia de la correlación.

### 5.3.2 Determinación del volumen del pan de las recetas propuestas

#### 5.3.2.1 Zapallo y Garbanzo

Los panes elaborados con zapallo y gluten presentan formas ovaladas, con diferencias de volumen cercanas a 5 ml, siendo esta diferencia un poco más de 5%; siendo la prueba de 2% de goma xantano la forma ovalada más alargada.

Las pruebas de 1% de goma xantano presenta menor desarrollo y contracciones en su superficie; y la prueba de 3% de goma xantano aunque no presenta contracciones en su superficie, su forma no es alargada, considerando que la masa tuvo demasiada consistencia y no permitió su desarrollo.

El mejor volumen de pan obtenido con zapallo y garbanzo fue la receta con 2% de goma xantano con un volumen de 91 cm<sup>3</sup>, con una significancia estadística mayor al 95%.

Se destaca en este pan, a diferencia de otros productos, su sabor neutro y su textura porosa que permite ser una opción agradable dentro del plano organoléptico; en otras muestras el sabor de los recursos vegetales fue muy intenso, lo cual limitaría el grado de aceptación del producto.

Existen estudios de sustitución parcial de harina de trigo con harina de zapallo, indicando todos que el pan reduce su volumen con el aumento de la proporción de zapallo (Wongsagonsup, Kittisuban, Yaowalak, &

Suphantharika, 2015) (Mona M. A. Aly, 2015), esto nos permite entender que el resultado está de acuerdo con lo observado en otros estudios.

#### 5.3.2.2 Camote y garbanzo

Las pruebas de pan de camote y garbanzo con diferentes niveles de goma xantano, presentan diferencias de volumen superiores al 10% y mostrando en su apariencia el impacto de la variación de la consistencia que ejerce la goma xantano, esto se puede observar claramente en la prueba de 3% de goma xantano que el pan muestra una concavidad grande en la base y otras deformaciones en la parte superior; este tipo de observación en la deformación lo utilizan los panaderos para determinar que la masa de pan no está bien o “es muy fuerte”.

El mejor volumen de pan obtenido con camote y garbanzo fue la receta con 2% de goma xantano, con una significancia estadística cercana o superior al 99%.

El pan sin gluten de camote y garbanzo presenta el segundo mejor volumen obtenido, siendo muy atractivo en su textura más similar al pan tradicional; su sabor fue característico suave a camote, alejándose de ser sabor neutro.

Es importante destacar que la consistencia y pegajosidad de la masa de panificación de esta prueba, fue la más parecida a la de pan; por lo que consideramos que las gomas propias del camote tienen características similares a las gomas o pentosanos del trigo, aportando a una fácil manipulación y trabajo.

La aplicación de camote en sustitución parcial o total de la harina de trigo, ha sido desarrollada de manera más amplia, debido a sus contribuciones en beta caroteno (Low JW, 2008) o proteína; sin embargo no hemos encontrado referencias de volumen precisas, pero si comentarios de aumentos de textura del pan, que indican un pan más compacto (Kamal, 2013), en línea con los resultados encontrados.

### 5.3.2.3 Papa y Garbanzo

Las diferentes pruebas de pan con papa y garbanzo fueron las masas más difíciles de manipular, por presentar una fuerte pegajosidad, esto se puede ver por las puntas que presentan las diferentes pruebas de pan; esta pegajosidad no fue resuelta por la goma xantano o también se puede asumir que las gomas de la papa generan esta pegajosidad, que no permite una buena manipulación de la masa antes de hornear.

El mejor volumen de pan obtenido con papa y garbanzo fue la receta con 3% de goma xantano, con una significancia estadística superior al 98%.

Sin embargo, la prueba de 3% no muestra ser el límite superior de volumen del pan que se pueda lograr con papa y garbanzo, abriendo interrogantes sobre si el volumen puede ser mayor con mayor cantidad de goma xantano o cambiando el tipo de goma, algo que deja abierto opciones de nuevas pruebas con estos ingredientes.

El pan sin gluten de papa y garbanzo fue uno de los panes que presento más características negativas, desde la pegajosidad en la masa (a pesar de la

goma xantano), su miga compacta por el poco desarrollo del volumen del pan y un sabor fuerte, como a papa frita.

Es importante destacar que el sabor, aunque es una limitante y se distancia del sabor del pan tradicional, neutro; también puede ser un atractivo a personas que les gusta el sabor a papas fritas.

La aplicación de papa en panes es muy limitada, es más amplia la aplicación del almidón de papa en los panes sin gluten; sin embargo, el pobre volumen obtenido valida una publicación del uso de proteína de papa en el 2016, donde sólo alcanzaron a dosificar un 2% de proteína de papa en el pan, obteniendo ya contracción en la porosidad del pan; en niveles más altos el pan era de mala calidad (Witczak, 2017).

#### 5.3.2.4 Maíz y Garbanzo

Las pruebas de pan de maíz y garbanzo muestran piezas de pan pequeñas y redondeadas, aunque el pan con un nivel de goma xantano de 3% presenta deformaciones en la superficie superior, esto no fue suficiente para limitar su crecimiento.

El mejor volumen de pan obtenido con maíz y garbanzo fue la receta con 3% de goma xantano, con una significancia estadística superior al 89%; esta prueba es la que da la menor diferencia estadística entre los volúmenes de pan, pero debido a las repeticiones en la medición, consideramos que la prueba de 3% con goma xantano será el resultado que represente a este grupo de pruebas.



Es importante desatacar que el pan con maíz y garbanzo representa junto con la de papa, los menores volúmenes obtenidos; sin embargo, observamos que en la prueba de maíz el tamaño de las partículas provenientes de la cutícula del maíz fue grande, comparado con la homogenización de los otros recursos vegetales; y consideramos que esto influyo en el desarrollo del volumen del pan; esto abre un espacio en la búsqueda de un mejor método de homogenización, especialmente para el maíz.

El uso del maíz ha sido un reto y se llega a las mismas conclusiones que en esta tesis, el poco desarrollo del pan y el impacto de las partículas gruesas, que predominante provienen de la cáscara (de la Hera, 2013).

#### 5.3.2.5 Plátano y garbanzo

Las pruebas de pan con plátano y garbanzo con diferentes niveles de goma xantano, presentan diferencias superiores al 15% del volumen de pan, y así como en el camote, el impacto de un mayor nivel de consistencia y viscosidad en la masa, se notan en la prueba de 3% de goma xantano, mostrando contracciones en la parte inferior del pan, así como contracciones prominentes en su superficie superior.

El mejor volumen de pan obtenido con plátano y garbanzo fue la receta con 2% de goma xantano, con una significancia estadística superior al 96%.

El pan sin gluten de plátano y garbanzo fue el de mayor volumen logrado en las pruebas, dando un pan esponjoso y agradable; posee sabor característico al plátano, tal como en el pan con papa y garbanzo, el sabor puede ser una desventaja o ventaja que debe aprovecharse.

El uso de plátano en sustitución parcial o total de harina de trigo, son amplios, desarrollados especialmente en África, obteniendo reemplazos aceptables hasta en un 30% (Adeniji, 2015) o utilizándolo con otros almidones en pan sin gluten hasta en un 50% (Sarawong, 2014).

#### 5.3.2.6 Selección de pruebas sin Gluten

La selección de las pruebas sin gluten tiene la finalidad de obtener el volumen máximo con cada mezcla de recursos vegetales, al que denominamos como óptimo. Cabe recordad que las variaciones de goma xantano con cada mezcla de recursos vegetales solo cambiaría la viscosidad de estas, manteniendo todas las demás variables fijas.

La utilidad de las pruebas de cantidad diferentes de goma xantano se refleja claramente en las mezclas de garbanzo con plátano, camote y zapallo, donde es el contenido medio (2%) de goma xantano obtiene el mayor volumen de pan; indicando que cantidades o mayores generan un desbalance de viscosidad que impactan en la formación del pan, especialmente en su volumen.

#### Comparativo de Volumen del pan tradicional y propuestas

En los resultados de volumen de la **Tabla 19 Resultados Volumen de Pan** en consistencia óptima se destaca notoriamente la propuesta de plátano con garbanza que obtiene un volumen de 110 centímetros cúbicos y con un volumen de 78% respecto al pan tradicional, ubicándose en el último cuartil comparativo, lo que significa que su resultado está próximo a alcanzar el volumen de pan tradicional.

El resultado del volumen relativo del pan (78%), es muy bueno si comparamos con resultados de reemplazo parcial de harina de trigo con harina de plátano (Oloyede, 2013) donde se obtuvo un volumen relativo de 77% con una receta de harina de trigo 80% y harina de plátano 20%; mientras en estas pruebas no hemos utilizado harina de trigo.

Este resultado abre un sinnúmero de nuevas opciones considerando que existen otros microingredientes alternativos, como por ejemplo para el reemplazo de la enzima transglutaminasa bacteriana, probar la enzima glucosa-oxidasa, que a pesar de que actúa sobre glucosa, finalmente oxida la red proteica otorgando propiedades similares.

También se puede desarrollar alternativas a la goma xantano, como recetas con goma tragacanto, goma guar u otras; y finalmente probar alternativas del monoglicérido como los Digliceridos (DATA) o el Estearoil Lactilato de Sodio entre otros.

Otros dos resultados de volumen de pan sin gluten interesantes son los de camote y zapallo con volúmenes de pan de 105 y 91 centímetros cúbicos respectivamente; estando ambos en el tercer cuartil de volumen comparativo al pan tradicional, así como en el desarrollo del pan de plátano estas pruebas abren un amplio desarrollo probando variaciones de emulsificantes y gomas.

Solo las recetas de pan sin gluten con garbanzo y papa o maíz llegan a tener volúmenes de pan debajo del 50% del pan tradicional, lo cual indica que la mezcla de estos vegetales no brinda el sustrato adecuado para desarrollar una pseudo red de gluten; y adicionalmente como se mencionó con el maíz

la tecnología usada no alcanzo el grado esperado sobre el tamaño de partículas.

### 5.3.3 Determinación de la correlación del volumen del pan y el contenido de aminoácidos

Es complejo establecer que el contenido de ciertos aminoácidos pueda estar relacionados al volumen de un pan, principalmente porque un aminoácido es solo un eslabón de una cadena o de una ramificación en una proteína, y su proporción en cadenas de proteínas llegan a estar en niveles de 1% o menos.

Sin embargo, a diferencia de su proporción, su ubicación en la cadena se vuelve crítica, si el aminoácido está ubicado en una posición especial; especialmente si se vuelve un sustrato para una enzima como la transglutaminasa que trabaja en los aminoácidos residuales de las cadenas de glutamina.

Asimismo, la ubicación es esencial en una red de gluten (proteína), ya que permite retener el gas de la fermentación dentro de su red, si esta correctamente ubicada formara un pseudo gluten con propiedades similares al gluten y generar un pan con textura agradable.

Adicionalmente existe un riesgo, además de la ubicación, es la cantidad de enlaces; si se generan muchos enlaces la red es muy fuerte y la textura del pan será compacta o de poco volumen.

Finalmente, la presencia de aminoácidos libres es un factor adicional, considerando la publicación de Ya Liu, la cual halla una relación lineal negativa con el volumen del pan.

Este factor será importante en tomarlo en cuenta, pero hay que tomar en cuenta que en la prueba de pan de este investigador no utilizo ninguna enzima, por lo que la interacción es referencial y no concluyente.

En esta tesis evaluaremos la relación lineal entre aminoácidos seleccionados y relacionados o que existen en la red de gluten y trabajan en el volumen del pan, que forma la transglutaminasa con las proteínas de las mezclas de garbanzo y los recursos vegetales seleccionados.

#### 5.3.3.1 Relación de la tirosina y el volumen del pan

La correlación de la tirosina y el volumen de pan es la más alta encontrada, con un nivel de cerca de 0.96; en primer lugar, analizamos si el rango de contenido de Tirosina es suficientemente amplio para establecer una linealidad, el rango del contenido de tirosina en las mezclas esta entre 0.3 y 2.2% que establece una escala de 1 a 7; y comparado con el rango de los otros aminoácidos, este no representa un rango especial, ni estrecho ni amplio; por lo que, su “alta” relación con el volumen del pan indica ya una alta selectividad de la tirosina por la transglutaminasa para esta reacción enzimática.

Otro factor importante para destacar es que la tirosina no contiene azufre en su estructura, lo que contradice lo que muchos años se ha creído que los enlaces disulfuro es el principal factor químico del gluten.

El mayor soporte bibliográfico a esta alta relación está en la afirmación del trabajo de Tilley en el 2001, afirmando que la tirosina “es la clave en la construcción del gluten. El resultado encontrado en esta tesis confirma y establece un orden en la importancia de los aminoácidos en la formación del gluten y consecuentemente en la calidad del pan.

La interacción de la tirosina en la calidad del pan no está relacionada únicamente a su contenido sino también a su ubicación molecular, es importante destacar que la tirosina fue clasificada por Jiangtao Lin en el grupo II sobre distribución de aminoácidos y la granulometría de la harina de trigo, grupo en que finalmente se encontraron todos los aminoácidos de mayor reacción; debido a la variedad de insumos vegetales utilizados podemos especular que la tirosina es un aminoácido residual importante para generar redes catalizadas en esta tesis por la transglutaminasa.

Lo que es complejo de entender es que la relación encontrada entre la tirosina y el volumen de pan es inversamente proporcional, por lo que a mayor contenido de tirosina menor volumen de pan, como lo muestra los volúmenes de pan de las mezclas de garbanzo con maíz o papa.

Es importante destacar que el hallazgo de Ya Liu que también encuentra una relación negativa de la tirosina con el volumen del pan, sin embargo la diferencia entre los contenidos de esta tesis, es que lo medido es sobre el contenido total del aminoácido tirosina y no solo el aminoácido libre; pero si consideráramos de manera libre que la transglutaminasa acelera el proceso de incorporación de cadenas, la presencia de tirosina es crítica en el

volumen del pan pero en formas específicas y si su forma en aminoácido libre de tirosina es un factor en contra.

Esta relación negativa puede desarrollar nuevas y diferentes hipótesis, como, el nivel de transglutaminasa fue demasiado alto y genero más enlaces de los necesarios para formar una pseudo red de gluten, o, si existe un límite del contenido de tirosina para generar una excelente red de pseudo gluten, solo se podrá resolver estas preguntas con más pruebas relacionadas al uso de la transglutaminasa y la aplicación en otros recursos vegetales.

#### 5.3.3.2 Relación de la metionina y el volumen del pan

La relación de la metionina con el volumen del pan es superior a 0.90, en un orden de 0.92, con lo cual ya consideramos que existe una relación significativa y altamente específica con la transglutaminasa.

La metionina es el único aminoácido azufrado con correlación importante; este hallazgo puede dar soporte parcialmente a las teorías antiguas de formación de gluten, considerando a todos los aminoácidos azufrados como los causantes de las características del gluten.

Sin embargo, el otro aminoácido azufrado la cisteína, solo mantiene una correlación con el volumen del pan de solo 0.80, lo cual no sustenta de manera significativa que los aminoácidos son esenciales para la formación de la red de gluten.

En la clasificación de Jiangtao Lin, la metionina se encuentra en el grupo II, donde la mayor concentración está en las partículas medianas, así como también con la menor concentración de glutamina y prolina.

Esta característica de estar en el grupo II y ser un aminoácido hidrofóbico, son las características destacadas para los aminoácidos con mayor correlación con el volumen del pan, mayor a 0.90, lo cual da soporte que la relación encontrada ha sido reportada anteriormente en otras publicaciones.

Es importante anotar que la regresión lineal da una pendiente negativa, indicando que ante mayor nivel de metionina menor volumen de pan, tal como lo muestra las mezclas de garbanzo y maíz o papa; sin embargo, esta relación negativa sustenta los resultados de Cabrera Chavez del 2010 y la de Bong-Kyung del 2005, donde la metionina juega un rol negativo en el pan.

#### 5.3.3.3 Relación de la fenilalanina y el volumen del pan

La relación de la fenilalanina con el volumen del pan es de 0.91, con lo cual consideramos que existe una relación significativa y específica con la transglutaminasa.

La fenilalanina es un aminoácido que también clasifica como hidrofóbica y en la clasificación de Jiangtao Lin se encuentra en el grupo II, al estar asociada a este grupo y tener una correlación importante consideramos que la relación es importante y valida.



También es importante anotar, que la regresión lineal da una pendiente negativa, indicando que ante mayor nivel de fenilalanina menor volumen de pan como lo muestra las mezclas de garbanzo con maíz o papa; pero esta relación negativa sustenta los resultados de Bong-Kyung del 2005 sobre la influencia de la fenilalanina en el volumen del pan.

#### 5.3.3.4 Relación de aminoácidos estructurales y el volumen del pan

##### 5.3.3.4.1 Glutamina

La correlación lineal de la glutamina con el volumen de pan sin gluten en estas pruebas es de solo 0.6255, que consideramos bajo o que no existe relación. Este resultado es previsible, ya que la glutamina es el aminoácido de mayor proporción en una red de gluten, pero esta amplia presencia la ubica como componente de la red y no necesariamente como un residual.

Es también importante mencionar que la enzima transglutaminasa actúa sobre el aminoácido residual al lado de una glutamina, por lo que, para actuar sobre una glutamina, deberá haber otra glutamina de soporte, como segundo requisito para reaccionar.

En la clasificación de Jiangtao Lin, la glutamina se ubica de manera solitaria en el grupo IV, porque representa el mayor contenido de aminoácido; es importante anotar que la glutamina presenta el menor contenido en las partículas de tamaño #6 y #7, donde destacan las proteínas del grupo II.

#### 5.3.3.4.2 Prolina

La relación de la prolina y el volumen del pan es de 0.7436, lo cual sigue aun siendo una relación no significativa. En la información encontrada, la prolina también es ubicada junto a la glutamina, como un aminoácido estructural, por lo que su presencia está en la cadena misma de la proteína.

En la clasificación de Jiangtao Lin, la prolina se ubica de manera solitaria en el grupo III, porque representa el segundo mayor contenido de aminoácido; es importante anotar que la prolina también presenta el menor contenido en las partículas de tamaño #6, donde destacan las proteínas del grupo II.

#### 5.3.3.5 Relación con otros aminoácidos con el volumen del pan

Las correlaciones de la cisteína, triptófano, leucina e isoleucina con el volumen de pan son menores a 0.90, por lo que la relación no llega a ser tan fuerte como los aminoácidos anteriormente mencionados.

Sin embargo, es importante destacar que su correlación se encuentra en el rango de 0.80 a 0.88, en otras palabras, en un cuarto superior. En este grupo se puede destacar a la cisteína y la leucina se encuentran el grupo II de la clasificación de Jiangtao Lin y son también hidrofóbicos; pero el triptófano y la isoleucina las clasificaron en el grupo I, siendo la isoleucina hidrofóbica pero la cisteína no.

Siendo un grupo más heterogéneo, consideramos que probar con mayor variedad de recursos vegetales alternativos, podría dilucidar con más claridad la relación de estos aminoácidos.

#### 5.4 Recursos vegetales de las distintas regiones naturales del Perú que representan alternativas de pan sin gluten

##### 5.4.1 Valor Nutricional

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 21 Análisis Proximal de Pruebas de Pan Sin Gluten, podemos afirmar que se ha logrado panes sin gluten con perfiles nutricionales mejores que el pan tradicional, resaltando el aumento de proteínas, aumento de fibra y reducción de carbohidratos.

##### 5.4.1.1 Proteínas

El contenido de proteínas en las pruebas está en un rango entre 14 y 16% de proteínas, siendo superior al 9.3% del pan tradicional.

El resultado elevado es consistente principalmente tanto por el uso de la harina de garbanzo y por su cantidad dentro de la mezcla con el recurso vegetal en la prueba. Siendo la papa y el zapallo los recursos vegetales con mayor humedad y su proporción frente al garbanzo menor, el resultado de las proteínas se encuentra alrededor del 16%. Y por otro lado siendo el camote y el plátano los de mayor cantidad de sólidos o menor humedad, y en defecto con menor proporción de garbanzo, contenido de proteínas se reduce hacia el 14%.

#### 5.4.1.2 Fibra

El contenido de fibra en todas las pruebas de pan sin gluten fue superior al contenido de fibra al pan tradicional, oscilando entre 5 y 7%.

El aumento de fibra está relacionado al reemplazo de una harina de trigo, blanca, sin cáscara; por harina de garbanzo que posee mayor cantidad de fibra. Y que el vegetal que acompaña a la mezcla, se le realizó el mínimo proceso para lograr tener una masa fluida, sin separar nada de la masa.

#### 5.4.1.3 Carbohidratos

El resultado sobre contenido de carbohidratos en todas las pruebas de pan sin gluten, son menores al pan tradicional; este resultado es consistente con el aumento de proteínas y fibra de todos los panes sin gluten probados.

#### 5.4.1.4 Cenizas y Grasa

El contenido de grasa de las pruebas es ligeramente superior al del pan tradicional, esta variación está ligada al contenido propio de los ingredientes como el garbanzo y recursos vegetales; al usar ingredientes con mínimo procesamiento, se han mantenido los triglicéridos naturales de cada ingrediente.

El caso es similar con las cenizas, donde los resultados oscilan debajo o encima del nivel de cenizas del pan tradicional, y dependen directamente de los vegetales incluidos en la receta.

#### 5.4.2 Costo y Factibilidad de las propuestas

La factibilidad de las recetas de un pan sin gluten o aceptabilidad en el mercado primero debe contemplarse su palatabilidad o potencial aceptación en el mercado, aunque en esta tesis no ha tenido el fin de elaborar una evaluación rigurosa de la aceptación o no de los potenciales consumidores, el volumen del pan es un factor de textura o en otras palabras cuanto mas pequeño el pan su textura sería muy compacta y menos agradable; por lo tanto consideramos que las recetas de garbanzo con maíz o papa poseen un potencial limitado para el mercado debido a que el volumen no supera el 50% del pan tradicional.

Otro factor importante de evaluación de potenciales propuestas para el mercado es el costo, las recetas de garbanzo con plátano, camote y zapallo oscilan entre 3.06 y 3.36 soles por 200 gramos (presentación popular en el mercado de pan sin gluten). Este costo es bastante atractivo, considerando que en el mercado los precios de los productos sin gluten se encuentran entre 9 y 17 soles, este costo es satisfactorio.

Finalmente, sobre la factibilidad regional, estas pruebas permiten establecer que las regiones de costa y selva son capaces de adaptar estas propuestas, ya que el plátano, camote y zapallo se producen en estas zonas. Solo la región andina queda sin propuesta factible ya que sus volúmenes son demasiado pequeños.

Estos resultados no descartan desarrollar mas pruebas con otros tipos de papa, siendo un país con tanta diversidad, es potencialmente posible encontrar mejores resultados con otros tipos de papa.

#### 5.4.3 Determinación de las mejores recetas de pan sin gluten

Consideramos que las recetas propuestas son bastante atractivas para el mercado de pan sin gluten.

En primer lugar, la diferencia del nivel nutricional de las propuestas es importante afirmar tanto las recetas de garbanzo con plátano, camote o zapallo presentan generosos perfiles nutricionales con niveles de proteínas entre 14 y 16% y niveles de fibra entre 6 y 8%, los cuales muestran un adecuado valor para su consumo, tanto por estar por encima del nivel proteico de un pan tradicional y su alto contenido de fibra que muchas ofertas de pan carecen.

Otro valor para destacar es el volumen de pan obtenido, como se menciona en comparación con el volumen del pan tradicional, la propuesta de pan con garbanzo y plátano se encuentra cerca al volumen de pan actualmente consumido en el mercado, considerando que el volumen es un fuerte indicador de la palatabilidad del producto.

Adicionalmente, debemos destacar la disponibilidad regional de los recursos utilizados, cabe destacar que el plátano se produce principalmente en la costa norte del Perú y la selva peruana, lo que permite establecer una mejor accesibilidad de cualquier productor a estos recursos.

Finalmente debido a la disponibilidad del plátano en las regiones mencionadas, el precio o costo de estos recursos será bastante competitivo; el costo calculado para todas las recetas se calculó alrededor de los 3 a 4 soles por paquete de 200 gramos. Comparado con precios de alrededor de 9 a 12 soles en el mercado, permitirá al productor contar con un precio competitivo y un margen adecuado para desarrollar estas recetas.

En resumen, consideramos que la receta de plátano y garbanzo cumple con requisitos claves para ser introducido al mercado, por su costo, volumen, perfil nutricional y disponibilidad.

Sin embargo, consideramos también que las recetas de camote y zapallo también son atractivas comercialmente; pero estas necesitan mayores pruebas para mejorar sus características.

## CONCLUSIONES

- Se estableció la relación lineal negativa entre la transglutaminasa bacteriana y el contenido de Fenilalanina, metionina y tirosina de panes sin gluten con diferentes fuentes vegetales.
- Se encontró similitud de las funciones de los ingredientes en las recetas propuestas para la elaboración de pan sin gluten.
- Se logro determinar el volumen de pan de las mezclas de garbanzo con plátano, camote, zapallo, maíz y papa en 110.2, 104.6, 91.2, 69.5 y 61.8 respectivamente.
- Se pudo determinar el valor nutricional de las recetas propuestas, destacándose en las recetas propuestas el contenido de proteínas entre 14 y 16% y el contenido de fibra entre 6 y 8%.
- Se estableció el costo de las recetas propuestas entre 3.00 y 4.00 soles.
- Se determinó que la receta del pan sin gluten de garbanzo y plátano posee la mayor factibilidad en el mercado peruano, respaldado por sus resultados en volumen de pan, costo, y la disponibilidad de los recursos.



## RECOMENDACIONES

- Ampliar la investigación de otros microingredientes como enzimas alternativas a la transglutaminasa y goma xantano, en las mezclas que tuvieron desarrollos limitados, como el maíz y la papa.
- Ampliar la investigación de recursos vegetales para ampliar la validación sobre la relación encontrada entre los aminoácidos y el volumen del pan sin gluten
- Ampliar la investigación en tirosina para establecer el límite en el contenido de este aminoácido o la reducción de la dosis de transglutaminasa utilizada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adeniji, T. (2015). PLANTAIN, BANANA AND WHEAT FLOUR COMPOSITES IN BREAD MAKING: PROSPECTS FOR INDUSTRIAL APPLICATION. *African of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10182-10197.
- Ahmad, Z. (2013). Xylanolytic Modification in Wheat Flour and its Effect on Dough Rheological Characteristics and Bread Quality Attributes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 723-729.
- Alimentarius, C. (2008). *INVENTARIO DE SUSTANCIAS UTILIZADAS COMO COADYUVANTES DE ELABORACIÓN (ICE), LISTA ACTUALIZADA*. Beijing: Comisión del Codex Alimentarius.
- Alimentarius, C. (2012). *Inventario de Sustancias Utilizadas*. Huangshu: Comisión de Codex Alimentarius.
- Alvarado Córdova, E. I. (2017). *Efecto De La Sustitución Parcial De La Harina De Trigo (Triticum Aestivum) Por Harina De Haba (Vicia Faba) Y Harina De Linaza (Linum Usitatissimum) En La Elaboración De Pan De Molde*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Amaia Arranz-Otaegui, L. G. (2018). Archaeobotanical evidence reveals the origins of bread 14,400 years ago in northeastern Jordan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 7925-7930. doi:10.1073/pnas.1801071115
- Ambiente, M. d. (2018). *Linea de base de la diversidad genética de la maiz peruano con fines de bioseguridad*. Lima: Ministerio del Ambiente.

- Amin, M. Z. (2019). Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon*, e02462.
- Anchundia, M. Á. (2019). Composición química, perfil de aminoácidos y contenido de vitaminas de harinas de batata tratadas térmicamente. *Rev Chil Nutr*, 137-143.
- Avellaneda Tejada, S. F. (2015). *Evaluación De La Calidad Del Pan De Molde Enriquecido Con Torta Desgrasada Extruída De Sacha Inchi (plukenetia Volubilis L.)*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Bernal Mamani, A. e. (2014). *Efecto De Exopolisacaridos De Lactobacillus Ruteri En La Elaboración De Masa Madre Con Harina De Quinoa (chenopodium Quinoa Willd) Variedad Blanca Salcedo Inia Y Roja Pasankalla Para La Obtencion De Pan Acido Libre De Gluten*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Bojňanská, e. a. (2012). Legumes – The alternative raw materials for bread production. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 876-886.
- Bong-Kyung, K., & al, e. (2005). Effect of Amino Acids and Peptides on Mixing and Frozen Dough Properties of Wheat Flour. *Journal of Food Science*, 359-364.
- Bourekoua, H. (2018). Characteristics of gluten-free bread: quality improvement by the addition of starches/hydrocolloids and their combinations using a

definitive screening design. *European Food Research and Technology*, 345-354.

Cabrera Chavez, F., & al, e. (2010). Modification of gluten by methionine binding to prepare wheat bread with reduced reactivity to serum IgA of celiac disease patients. *Journal of Cereal Science*, 310-313.

Carbajal, L. I. (2016). *Enriquecimiento Del Pan De Trigo (triticum Vulgare) Por Sustitución Parcial De Harina De Kiwicha (amaranthus Caudatus) Y Su Fortificación Con Acetato De Calcio De La Cáscara De Huevo*. Apurimac: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac.

Choque Coaguila, N. L. (2017). *Efecto De La Harina De Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd) En La Formulación De Pan Sin Gluten Con Transglutaminasa E Hidroxipropilmetilcelulosa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.

Close-Up Media, Inc. (2018). *ResearchAndMarkets.com Adds Report on the Global Bread Market*. Jacksonville: Food and Beverage Close-UP.

Crerar, C. (09 de 12 de 2013). *Banco Mundial BIRF AIF*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/12/09/pan-argentina>

Cruz, C. e. (2017). Changing the shape of hair with keratin peptides. *Royal Society of Chemistry*, 51581–51592.

Curasi Ttito, H. B. (2016). *Estudio De Factibilidad Para La Producción De Pan a Base De Granos Andinos*. Juliaca: Universidad Peruana Unión.

- de la Hera, E. T. (2013). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *J. Sci. Food Agric.*, 924-932.
- De la Vega Ruiz, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 27-32.
- Diario Gestion. (08 de 09 de 2019). *Perú posee 7.6 millones de Hectáreas para cultivos Agrícolas*. Obtenido de <https://archivo.gestion.pe/noticia/677273/peru-posee6-millones-hectareas-cultivos-agricolas>
- Espinoza Eusebio, L. e. (2018). *Evaluación De La Calidad Del Pan De Molde Enriquecido Con Harina De Chía (salvia Hispánica L.) Desgrasada Y Sin Desgrasar*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Esquivel Rivera, I. N. (2018). *Elaboración De Pan Sin Gluten En Base a Harinas De Arroz (Oryza Sativa), Soya (Glycine Max) Y Lenteja Malteada (Lens Culinaris), Diseño Y Evaluación De Un Fermentador Industrial*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). *World Food Situation*. Obtenido de <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
- Fermin, B. C. (2005). Effect of Proline and Glutamine on the Functional Properties of Wheat Dough in Winter Wheat Varieties. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, E273 - 278.

- Foundation, C. D. (2019). *Association Between a Common Food Additive and Celiac Disease*. Obtenido de <https://celiac.org/about-the-foundation/featured-news/2019/01/association-between-a-common-food-additive-and-celiac-disease/>
- Gomes Almeida Sá, A. e. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 170-184.
- Huaman, Z. (1999). *Sweetpotato Germplasm Management (Ipomoea batatas)*. Lima: International Potato Center.
- HUGHES, B. (1958). The amino-acid composition of potato protein and of cooked potato. *Br J Nutr.*, 188-195.
- Infosalus. (2019). *La celiacía podría estar causada por un componente usado para fabricar salchichas o queso*. Obtenido de <https://www.infosalus.com/nutricion/noticia-celiaquia-podria-estar-causada-componente-usado-fabricar-salchichas-queso-20190104122252.html>
- INS Instituto Nacional de Salud. (2009). *TABLAS PERUANAS DE COMPOSICIÓN DE ALIMENTOS*. Lima: Instituto Nacional de Salud.
- Iqbal, A. e. (2006). Physicochemical characteristics and amino acid profile of chickpea cultivars grown in Pakistan. *Journal of Foodservice*, 94-101.
- Kaddour, A. (2006). Description of Chemical Changes Implied During Bread Dough Mixing by FT-ATR Mid Infrared Spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 673-678.

- KALDY, M. S. (1972). AMINO ACID COMPOSITION OF SELECTED POTATO VARIETIES. *Journal of Food Science*, 375.
- Kamal, M. S. (2013). Effect of sweet potato flour of two local varieties on quality of breads. *J. Bangladesh Agril. Univ.*, 301-306.
- Konrad Kłosok, R. W. (2021). Effects of Physical and Chemical Factors on the Structure of Gluten, Gliadins and Glutenins as Studied with Spectroscopic Methods. *Molecules*, 508.
- Lasztity, R. (1981). *Correlation Between the Chemical Structure and rheological properties of gluten*. Budapest: Department of Biochemistry and Food Technology.
- Leiva, S. (2015). Cucurbitáceas utilizadas como alimento en el Perú Prehispánico. *Arnaldoa*, 439 - 478.
- Lin, J. (2019). Bulk and Surface Chemical Composition of Wheat Flour Particles of Different Sizes. *Journal of Chemistry*, 11.
- Liu, Y., & Ohm, J.-B. (2011). Sulfur, Protein Size Distribution, and Free Amino Acids in Flour Mill Streams and their relationship to Dough Rheology and Breadmaking Traits. *Cereal Chemistry*, 109-116.
- Loayza Rivas, M. A. (2017). *Caracterización Reológica De Panes Tradicionales Enriquecidos Con Semilla Y Harina De Chía Negra (Salvia Hispanica L.)*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

- Low JW, v. J. (2008). The Potential Contribution of Bread Buns Fortified with  $\beta$ -Carotene-Rich Sweet Potato in Central Mozambique. *Food and Nutrition Bulletin*, 98-107.
- Markgren, J. (2020). Glutenin and Gliadin, a Piece in the Puzzle of their Structural Properties in the Cell Described through Monte Carlo Simulations. *Biomolecules*, 1095. doi:10.3390/biom10081095
- Matsushita, K. (2020). Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *Journal of Food Science and Technology*, 134-142.
- Ministerio del Ambiente - Perú. (2019). *Linea de base de la diversidad genética de la papa peruana con fines de bioseguridad*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Mona M. A. Aly, H. A. (2015). Gluten-Free Flat Bread and Biscuits Production by Cassava, Extruded Soy Protein and Pumpkin Powder. *Food and Nutrition Sciences*, 14.
- Mozombite, L. (2019). *Caracterización Botánica y evaluación preliminar del rendimiento en tres ecotipos de Musa paradisiaca L*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.
- Ndamitso, M. M. (2019). COMPARATIVE STUDY OF THE MINERAL, PROXIMATE AND AMINO ACID COMPOSITIONS OF RED SWEET POTATO (IPOMOEA BATATAS) AND ITS SYRUP. *Assumption University-eJournal of Interdisciplinary Research*, 10-18.



- Nestares, T. e. (1996). Nutritional Assessment of Raw and Processed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Protein in Growing Rats. *J. Agric. Food Chem*, 2760–2765.
- Ñopo, L. (2018). *Ensayo del rendimiento de doce variedades promisorias de garbanzo (Cicer arietinum L.) bajo condiciones de La Molina*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Oloyede, O. e. (2013). Physical, Sensory and Microbiological Properties of Wheat-Fermented Unripe Plantain Flour. *Nigerian Food Journal*, 123-129.
- Olu, M. (2013). Effect of Processing on Total Amino Acid Profile of Maize and Cowpea Grains. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 88-92.
- OMS. (08 de 02 de 2021). *WHO.INT*. Obtenido de <https://www.who.int/nmh/wha5717/en/>
- OPS/OMS. (01 de 09 de 2015). *PAHO.ORG*. Obtenido de [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=11180:ultra-processed-foods&Itemid=1926&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=11180:ultra-processed-foods&Itemid=1926&lang=es)
- Oyeleke, A. W. (2019). Amino Acid Profile, Functional Properties and In-vitro Antioxidant Capacity of Cucurbita maxima and Cucurbita mixta Fruit Pulps and Seeds. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 224-241.
- Pacheco Alfaro, A. R. (2016). *Elaboración De Panes Sin Gluten Utilizando Harina De Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.) Y Almidón De Papa (Solanum Tuberosum)*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Pisfil Gonzales, C. A. (2017). *Optimización Del Nivel De Sustitución De La Harina De Trigo Por Harina De Quinoa (Chenopodium Quinoa), Cañihua (Chenopodium Pallidicaule) Y Kiwicha (Amaranthus Caudatus) En La Elaboración De Pan Panini Precocido*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Pourmohammadi, K. (2021). Hydrolytic enzymes and their directly and indirectly effects on gluten and dough properties: An extensive review. *Food Science & Nutrition*, 3988-4006.
- Rajnincová, D. (2019). The protein profile of cereals, pseudocereals and legumes. *Journal of Food Science and Technology*, 49-53.
- Rodríguez P, P. E. (2015). Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de aminoácidos de harina de plátano de dos clones. *revista ion*, 55-62.
- Rojas Ruiz, S. Y. (2017). *Optimización Del Proceso De Elaboración De Pan Utilizando Harina De Moringa (moringa Oleifera)*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Rojas Vera, K. L. (2010). *Estudio De Prefactibilidad Para La Implementación De Una Panificadora Exportadora De Pan De Algas*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Sarawong, C. G. (2014). Effect of green plantain flour addition to gluten-free bread on functional bread properties and resistant starch content. *Int J Food Sci Technol*, 1825-1833.

- Sciarini, L. (2010). Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 2306–2312.
- Sciencedaily. (2019). *Could this widely used food additive cause celiac disease?*  
Obtenido de  
<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/01/190103110713.htm>
- Shevkani, K. (2019). Pulse proteins: secondary structure, functionality and applications. *Journal of Food Scientists & Technologists*, 2787-2798.
- SNI IEES. (2018). *Elaboración de Productos de Panadería (Resumen)*. Lima: SNI Sociedad Nacional de Industrias.
- Tilley, K. A. (2001). Kansas State scientist discovers scaffolding of dough formation. *M2 Presswire*, 1.
- Vergara, P. (2011). *EFEECTO DE LA ADICIÓN DE ENZIMA TRANSGLUTAMINASA EN EL DESARROLLO DE PAN A BASE DE HARINA DE QUÍNOA*. santiago: Universidad de Chile.
- Villanueva Vera, E. (2017). *Optimización Del Proceso De Elaboración De Pan Utilizando Harina De Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd), Variedad Roja*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Witczak, T. J. (2017). Rheology of gluten-free dough and physical characteristics of bread with potato protein. *J Food Process Eng.* , 40.

- Wongsagonsup, R., Kittisuban, P., Yaowalak, A., & Supphantharika, M. (2015). Physical and sensory qualities of composite wheat-pumpkin flour bread with addition of hydrocolloids. *International Food Research Journal*, 745-752.
- Wood, L. (03 de 12 de 2012). Bread Production in the US - Demand for nutrient-enriched breads will modestly boost revenue. Coventry, Rhode Island, USA.
- World Atlas. (2019). *Top Wheat Producing Countries*. Obtenido de <https://www.worldatlas.com/articles/top-wheat-producing-countries.html>
- Yi Li, J. F. (2021). High-Molecular-Weight Glutenin Subunits: Genetics, Structures, and Relation to End Use Qualities. *International Journal of Molecular Sciences*, 184.
- Zavaleta Sandoval, M. (2013). *Elaboración De Pan Labranza Utilizando Harina De Torta Qde Sacha Inchi (plukenetia Volubilis) Como Sustitución Parcial De Harina De Trigo ( Triticum Aestivum) Y Evaluación De Su Calidad*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.
- ZELDOVICH, L. (24 de Julio de 2018). *The Salt, What's on your Plate*. Obtenido de <https://www.npr.org/sections/thesalt/2018/07/24/631583427/14-000-year-old-piece-of-bread-rewrites-the-history-of-baking-and-farming>
- Zia-ul-Haq, M. e. (2007). Nutritional and compositional study of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. *Food Chemistry*, 1357-1363.