

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por
harina de maca (*Lepidium peruvianum*) en el contenido proteico y la
aceptabilidad general del pan integral**

TESIS PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CARLOS ARMANDO CRUZ OLAYA

TRUJILLO, PERÚ

2019

La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:

Ing. Dr. Fernando Rodríguez Avalos
PRESIDENTE

Ing. Ms. Luis Francisco Márquez Villacorta
SECRETARIO

Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna
VOCAL

Ing. Dr. José Luis Soriano Colchado
ASESOR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada en primer lugar a Dios por
hacerme sentir su presencia en todos los
momentos tanto buenos como difíciles, por darme
la fortaleza necesaria para seguir.

A mis padres por hacer de mí la persona que ahora
soy, por darme la mano desde temprana edad y
guiarme por el buen camino, además de brindarme
toda su confianza y apoyo en las decisiones que
pueda tomar.

ÍNDICE GENERAL

pág.

CÁRATULA	i
APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE BIBLIOGRAFIA.....	4
2.1. Generalidades del pan integral	4
2.1.1. Definición	4
2.1.2. Características fisicoquímicas y nutricionales del pan integral.	4
2.1.3. Elaboración del pan integral	5
2.1.3.1. Método de elaboración del pan integral	5
2.1.3.2. Ingredientes básicos del pan integral.....	6
2.1.3.3. Proceso para elaboración del pan integral.....	16
2.1.3.4. Control de calidad en el proceso de elaboración del pan integral.....	20
2.1.4. Estructura del pan.....	21
2.1.5. Características sensoriales del pan integral	22
2.1.6. Características microbiológicas del pan integral.....	22
2.1.7. Deterioro del pan Integral	23
2.2. Generalidades de la maca.....	26
2.2.1. Definición	26

2.2.2. Ecotipos de maca	26
2.2.3. Composición y valor nutricional de la maca.....	27
2.2.4. Harina de maca	29
2.3. Evaluaciones del pan integral de maca	32
2.3.1. Contenido proteico.....	32
2.3.2. Aceptabilidad general	33
III. MATERIALES Y METODOS.....	34
3.1. Lugar de ejecución	34
3.2. Materia prima.....	34
3.3. Materiales y equipos.....	34
3.3.1. Insumos	34
3.3.2. Reactivos	34
3.3.3. Equipos e instrumentos	35
3.4. Metodología	35
3.4.1. Esquema experimental de pan integral con maca	35
3.4.2. Descripción del proceso de elaboración del pan integral con maca	35
3.5. Métodos de análisis	40
3.6. Método estadístico.....	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Contenido proteico.....	42
4.2. Aceptabilidad general del pan integral con harina de maca	45
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. RECOMENDACIONES	50
VII.BIBLIOGRAFIA	51
VIII. ANEXOS	57

ÍNDICE DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Composición nutricional del pan integral.....	5
Cuadro 2. Componentes, cantidades y sus funciones para la elaboración de pan integral	7
Cuadro 3. Composición química y energética de harina de trigo integral.....	8
Cuadro 4. Características fisicoquímicas de la grasa	12
Cuadro 5. Especificaciones microbiológicas del pan	23
Cuadro 6. Lista de ecotipos de maca	27
Cuadro 7. Composición química de la maca amarilla.....	29
Cuadro 8. Vitaminas en la maca amarilla	29
Cuadro 9. Valor químico y nutricional de la harina de maca amarilla	30
Cuadro 10. Formulaciones para la elaboración del pan integral de maca.	39
Cuadro 11. Prueba de Levene modificada para el contenido proteico del pan integral con harina de maca.....	44
Cuadro 12. Análisis de varianza para el contenido proteico del pan integral con harina de maca	44
Cuadro 13. Prueba de Tukey para el contenido proteico del pan integral con harina de maca	45
Cuadro 14. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general del pan integral con harina de maca.....	47
Cuadro 15. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en el pan integral con harina de maca.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Esquema experimental para la elaboración de pan integral con harina de maca	36
Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de pan integral con harina de maca.....	37
Figura 3. Contenido proteico de pan integral con harina de maca	42
Figura 4. Valores promedio de aceptabilidad general del pan integral con harina maca	46

ÍNDICE DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Medición de proteína del pan integral con harina de maca	57
Anexo 2. Evaluación sensorial de aceptabilidad general del pan integral con harina de maca	58
Anexo 3. Ficha de evaluación de aceptabilidad general para pan integral con harina de maca	59
Anexo 4. Harina de maca	59
Anexo 5. Elaboración del pan integral.	60

RESUMEN

Se determinó el efecto de la sustitución de la harina de trigo (5, 10 y 15%) por harina de maca (*Lepidium peruvianum*) sobre el contenido de proteínas y aceptabilidad general del pan integral. Las variables fueron evaluadas 24 h después de la elaboración del producto. Se realizaron pruebas estadísticas a un nivel de confianza del 95%. La prueba de Levene modificada demostró la homogeneidad de las varianzas. El análisis de varianza indicó un efecto significativo ($p < 0,05$) de la sustitución de la harina de maca en el contenido de proteína del pan integral. La prueba de comparación múltiple de Tukey determinó que el mejor tratamiento fue la sustitución de la harina de trigo por 15% de harina de maca, ya que proporcionó el mayor contenido (22,60%). Para aceptabilidad general se realizó la prueba de Friedman mediante la cual se determinó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las muestras evaluadas, además, el tratamiento con harina de trigo al 10% presentó mayor rango promedio de 3.43 con moda de 6, correspondiente a la percepción de “Me gusta muchísimo”, posteriormente se comparó este tratamiento contra los demás mediante la prueba de Wilcoxon donde fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$).

ABSTRACT

The effect of substitution of wheat flour (5, 10 and 15%) by maca flour (*Lepidium peruvianum*) on protein content and overall acceptability of whole wheat bread was determined. The variables were evaluated 24 hours after the elaboration of the product. Statistical tests were performed at a confidence level of 95%. The modified Levene test demonstrated the homogeneity of the variances. The analysis of variance indicated a significant effect ($p < 0.05$) of the substitution of maca flour on the protein content of whole wheat bread. Tukey's multiple comparison test determined that the best treatment was the substitution of wheat flour for 15% of maca flour, as it provided the highest protein value (22.60%). The Friedman test did not determine any effect or significant differences in all treatments ($p < 0.05$), so the Wilcoxon test was performed, in which it was determined that the substitution of HT by 10% HM, which reached the highest rank (3.43) of the other treatments, thus being the best in terms of general acceptability.

I. INTRODUCCION

Los productos de panadería son alimentos nutritivos básicos que poseen constituyentes ricos en almidón, además de constituyentes aptos para la formación de masas (proteína – gluten) entre otros. La calidad y cantidad de proteínas es diferente según las distintas variedades de harinas de distintos cereales o alimentos utilizados para su elaboración, aunque la más habitual es la harina de trigo y la de mayor consumo en nuestro medio, seguido de otros cereales como la harina de cebada, maíz, quinua, siete semillas, polenta y otros. Estos forman parte de nuestra dieta tradicional debido a su variedad cultura gastronómica (INEI, 2015).

Abordar la alimentación y nutrición en la población peruana es muy complejo porque actúan e influyen muchos factores que condicionan individualmente los hábitos, tales como: el psicológico, la costumbre, la tradición, la cultura y la religión; sin embargo, igual importancia tienen los factores familiares, sociales y la influencia de los medios de comunicación y la publicidad. La nutrición es uno de los pilares fundamentales en el desarrollo y en términos de salud pública es importante vigilar el estado de nutrición y salud en la población, para realizar acciones de prevención y evitar mayores costos a los individuos, a las familias y a los servicios sanitarios (Minsa, 2013).

El amaranto, quinua y trigo sarraceno han atraído mucho interés en los últimos años. Una de las razones del interés es su excelente perfil de nutrientes. Además de ser una de las fuentes de energía importantes debido a su contenido de almidón, estos proporcionan proteínas de buena calidad, fibra dietética y lípidos ricos en grasas insaturadas. Por otra parte, a que contienen niveles adecuados de importantes micronutrientes como minerales y vitaminas y significativas cantidades de otros componentes bioactivos, tales como saponinas, fitoesteroles, escualeno, fagopiritoles y polifenoles. Además, el amaranto, semillas de quinua y trigo sarraceno son

también naturalmente libres de gluten y por lo tanto, actualmente están surgiendo como alternativas saludables al gluten que contienen los granos en el libre de gluten (Alvares y otros, 2009).

Desde los años 60 se ha elaborado varios análisis bromatológicos de la maca y se ha comprobado su alto valor nutricional por tener presentes macros y micronutrientes en concentraciones elevadas. El contenido nutricional de la raíz seca es alto si se compara con otras hortalizas como la zanahoria, el rábano y el nabo, entre otras. De los 18 aminoácidos encontrados en la raíz de la maca, 7 son aminoácidos esenciales y se encuentran en concentraciones superiores a los de otras raíces y tubérculos y son cercanas a las encontradas en la leche humana, leche de vaca, carne de vaca, huevo y pescado. Los minerales también son abundantes en la harina de maca con altas concentraciones de potasio, así como de calcio y hierro (Castaño, 2008).

La harina de maca no sólo presenta un alto valor nutricional sino también es valorada por su papel medicinal. Entre los componentes químicos de este cultivo andino que se han relacionado con sus acciones terapéuticas como el aumento de la fertilidad, niveles de energía, acción antioxidante, mejora del deseo sexual y la tasa de crecimiento, destacan: los glucosinolatos, esteroides, ácidos grasos (macaeno) y sus respectivas amidas (macamidas), alcaloides (lepidilinas A y B, macaridina) y polifenoles, además de propiedades terapéuticas (Sifuentes y Vásquez, 2015).

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto de tres sustituciones (5, 10, 15%) de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de maca (*Lepidium peruvianum*) en el contenido proteico y la aceptabilidad general del pan de integral?

Los objetivos propuestos fueron:

Evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de maca en el contenido proteico y la aceptabilidad general en el pan de integral.

Determinar el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de maca que permita obtener un pan integral con el mayor contenido proteico y la mejor aceptabilidad general.

II. REVISION DE BIBLIOGRAFIA

2.1. Generalidades del pan integral

2.1.1 Definición

Fierro y Jara (2010) indican que el pan integral es un producto comestible que resulta de hornear una mezcla previamente fermentada, que contiene los siguientes ingredientes básicos: agua, harina integral, levadura y sal, responsables de las características de apariencia, textura y sabor; luego, los ingredientes secundarios como azúcar, grasa, leche, huevos y otros, los cuales proporcionan características de calidad; finalmente los ingredientes que complementan este producto como mejoradores que aseguran el rendimiento constante durante el proceso.

2.1.2. Características fisicoquímicas y nutricionales del pan integral

Collazos y otros (2006) indican que la composición fisicoquímica y nutricional del pan integral depende de la calidad nutricional de los ingredientes y aditivos que presenta en su elaboración. Por el alto contenido de sus carbohidratos el pan, es una gran fuente de energía, la que aporta 317 kcal por pieza.

Fierro y Jara (2010) indican que la composición nutricional del pan integral depende de distintos factores, entre los que destacan los siguientes:

- La cantidad de harina que se obtiene de 100 g de cereales. Cuanto más elevado sea el grado de extracción, “más integral” es la harina.
- El enriquecimiento de la harina con algunos nutrientes, especialmente hierro y calcio, que incrementa el valor nutritivo del producto final.

En el Cuadro 1, se observa la composición nutricional del pan integral destacando claramente el contenido de carbohidratos y proteína.

Cuadro 1. Composición nutricional del pan integral

Componente	Contenido (g/100g)
Carbohidratos	42.8
Grasas	4.5
Proteínas	8.8
Fibra	5.4
Hierro (mg)	182
Calcio (mg)	98
Fosforo (mg)	117

Fuente: Collazos y otros (2006).

2.1.3. Elaboración del pan integral

2.1.3.1. Método de elaboración del pan integral

Los principales métodos de elaboración del pan integral son:

- Método de masa directa. Los componentes de la masa son mezclados en una sola etapa. En el mezclado se obtiene una masa suave con una elasticidad óptima. La masa se fermenta de 2 a 4 h.
- Método de esponja. El volumen de harina a utilizar se divide en dos partes: una se mezcla con levadura y agua, fermentando cierto tiempo, a este tipo de masa se le llama esponja, la cual se mezcla con la segunda cantidad de harina y los otros ingredientes (masa).

Este tipo de masa es más beneficiosa porque da un mayor rendimiento, pues produce más panes y además es más fuerte. El pan obtiene un mejor gusto y una mejor corteza al momento de salir del horno. Otra ventaja es que, si todavía sobra masa madre, esta puede ser guardada en temperaturas frías, aguantando hasta meses (Pedroza, 2011).

2.1.3.2. Ingredientes básicos del pan integral

En la elaboración se utiliza harina integral, es decir, la obtenida por trituration del grano completo, sin separar ninguna parte del mismo. Las materias primas utilizadas en la elaboración del pan son: harina, agua, sal, levadura y otros componentes. Evidentemente la utilización de las cuatro primeras conduce a la elaboración de pan común, la ausencia de alguna de ellas o la inclusión de algún componente especial conlleva la elaboración de pan especial (Mesas y Alegre, 2009).

El principal componente de la formulación de la masa, es la harina, que procede del proceso de molturación del cereal, siendo la harina de trigo la más importante. Los principales ingredientes empleados en la fabricación de pan integral son: harina, agua, sal y la levadura, ya que estos son los que otorgan las principales características como son la textura, el sabor y la apariencia del pan (Pedroza, 2011).

El azúcar, leche en polvo, grasa y otros aditivos no son indispensables, así que también se podría producir pan integral sin estos ingredientes. La adición de estos es opcional (Pedroza, 2011).

En el Cuadro 2, se muestra la fórmula utilizada para la elaboración de la masa del pan integral y las funciones de cada uno.

Cuadro 2. Componentes, cantidades y sus para la elaboración de pan integral

Componente	Cantidad (%)	Función
Harina de trigo integral	100.0	Fuente de gluten, almidón y lípidos.
Agua	50.0 – 65.0	Plasticidad y extensibilidad de la masa.
Azúcar	6.0	Sabor, color, sustrato para la levadura.
Leche en polvo	6.0	Sabor, color, efecto tampón sobre pH.
Lípidos y glucolípidos	4.0	Mejoramiento de textura (suavidad).
Emulsionante	2.5	Mejora las características físicas (suavidad)
Cloruro de sodio	2.0	Otorga el sabor (salado) y endurecimiento del gluten.
Levadura instantánea	2.0	Fermentación.
Malta	0.5	Fuete de amilasas y proteasas.
Sales de amonio	0.5	Sustrato para la levadura.
Propionato de calcio	0.2	Agente antimicrobiano.

Fuente: Pedroza (2011).

En los siguientes párrafos se describen de forma detallada cada uno de los ingredientes del pan integral:

a. Harina integral de trigo

La harina integral de se obtiene de la molienda de los granos de trigo enteros con todas sus envolturas celulósicas, siendo, por tanto, una masa más oscura y pesada que la masa común que la harina blanca, al contener

mayor cantidad de cáscara (compuesta principalmente por fibra) (Codex alimentarius, 2007).

Cauvain y Young (2008) indican que el tamaño de las partículas de la harina de trigo integral disponibles gruesas y finas. Cada una provoca un efecto distinto en la textura del producto terminado. Los productos elaborados con granulación gruesa son más densos y tienen una apariencia más rústica. La granulación fina produce una textura más refinada, con una suave sensación en la boca.

En el Cuadro 3, se muestra la composición química y energética de la harina integral de trigo resaltando claramente los carbohidratos totales.

Cuadro 3. Composición química y energética de harina de trigo integral

Componente	Contenido (en 100g)
Energía (kcal)	322
Agua(g)	12-14
Proteínas(g)	12.7
Hidratos de carbono(g)	58.3
Lípidos totales(g)	12-14
Fibra (mg)	9.0
Cenizas (mg)	0.4-0.6
Fuente: Codex alimentarius, (2007)	

b. Agua

De acuerdo con Amaro (2017): El agua juega un papel fundamental en la formación de la masa, en la fermentación, el sabor y frescura finales del pan. En la formación de la masa, ya que en ella se disuelve todos los ingredientes, permitiendo una total incorporación de ellos. También hidrata

los almidones, que junto con el gluten dan por resultado una masa plástica y elástica.

El agua controla:

- La temperatura de la masa, por esto muchas veces se añade el agua en forma de escamas de hielo, para lograr la temperatura deseada.
- En la fermentación, para disolver la levadura y que comience a actuar.
- El agua hace factible las propiedades de plasticidad y extensibilidad de la masa, de modo que pueda crecer por la acción del gas producido en la fermentación.
- El sabor y la frescura: la presencia del agua hace posible la porosidad y buen sabor del pan. Una masa con poca agua daría un producto seco y quebradizo. Los almidones hidratados al ser horneados se hacen más digeribles. La corteza del pan más suave y tierna por efectos del agua. La humedad del pan le da esta frescura característica, ya que la pérdida de agua le vuelve viejo y pesado (Amaro, 2007).

El agua blanda, ablanda el gluten, y produce una masa suave y pegajosa. Para su tratamiento utilizaremos menos alimento para la levadura o se aumentará la sal en la fórmula. Las aguas duras si provienen de sulfatos, actúan como nutrientes de las levaduras y fortalecen el gluten, pero en exceso, endurecen el gluten y retrasan la fermentación, por lo que en su caso conviene utilizar más levadura o alimento de ésta.

El agua ideal para la panificación es el agua medianamente dura y que contiene sales minerales suficientes para reforzar el gluten y así servir como alimento para la levadura. Además, tenemos el efecto sobre el sabor del pan, ya que el agua dura da buen sabor al pan.

c. Levadura

En panadería se llama levadura al componente microbiano aportado a la masa con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y CO_2 . Este

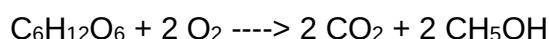
CO_2 queda atrapado en la masa la cual se esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa. Los microorganismos presentes en la levadura son principalmente levaduras que son las responsables de la fermentación alcohólica, pero también se pueden encontrar bacterias que actúan durante la fermentación dando productos secundarios que van a conferir al pan determinadas características organolépticas, en concreto una cierta acidez indica que el principio básico de la levadura es un proceso natural creado por microorganismos y bacterias que son las que provocan la aparición de gases y hacen que una masa fermente. Las bacterias mueren a altas temperaturas (a partir de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$), por lo que las levaduras realizan su trabajo solo a temperaturas de (20 y $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Mesas y Alegre, 2009).

Según Amaro, (2007), las principales funciones de la levadura son las siguientes:

1.º Producción de sustancias que colaboran en la modificación de las estructuras de las proteínas de la harina (gluten), de forma que las paredes celulares estén capacitadas para retener el anhídrido carbónico producido. La reducción de la fermentación tiene como consecuencia la pérdida de parte de elasticidad de la masa. Probablemente la plasticidad es una propiedad adquirida como consecuencia de la rotura de los enlaces intermoleculares, manteniendo la configuración longitudinal de los enlaces del gluten.

2.º Desarrollo de parte del aroma y sabor, mediante la producción de alcoholes, aromas típicos de panificación, éteres, ácido acético, butírico y láctico.

3.º La función más importante es la subida de la masa, debida a la producción de CO₂ (anhídrido carbónico) y alcohol etílico (C₂H₅OH), por la transformación de la glucosa.



La secuencia de los procesos asociados al metabolismo de la levadura y aparejado a ellos, las fases de levantamiento son tres.

1. Consumo rápido de glucosa y fructosa existentes en la harina, que comienza desde el contacto de la levadura con la harina (en la amasadora). La mayor parte del gas que se produce durante esta fase (especialmente en amasados largos con periodos de reposos intermedios) y es evacuado durante el formado de la masa, estirando así el gluten y dándole a la miga su estructura porosa y ligera.

2. Consumo lento de azúcares que se produce por la degradación del almidón (asociado a la fermentación propiamente dicha).

3. Última fermentación que se da en el horno hasta que la masa adquiere la temperatura de 55 °C, a la que mueren las levaduras. El último impulso de la masa, aumenta su volumen.

d. Materia grasa

La materia grasa es uno de componentes mayoritarios en el pan y es de origen animal, vegetal o sus mezclas, que tienen como constituyentes principales los glicéridos de los ácidos grasos. El utilizar algo de grasa no es una norma básica, pero sí se puede observar como el pan es mucho más suave, con lo que se ayuda a alargar la duración del pan una vez cocido.

Uno de los principales problemas del pan integral al quedarse duro al poco tiempo de la cocción. Para este se añade al amasado en pequeñas cantidades utilizando margarinas de bajo punto de fusión (Amaro, 2007).

El Cuadro 4 indica las características fisicoquímicas y organolépticas de la grasa que se utiliza en la panificación.

Cuadro 4. Características fisicoquímicas de la grasa

Parámetro	Limite
Punto de Fusión (°C)	40-44
Punto de humeo (°C)	200 -220
Estabilidad en ranciamiento (h)	30

Fuente: Amaro (2007).

Según Amaro (2007), las propiedades de la materia grasa para la panificación son las siguientes:

- Lubricación. Hace al pan crujiente y suave
- Extensibilidad volumétrica. Hace que el pan adquiera un mayor volumen
- Emulsificante. La grasa repele el agua, pero al interconectarse con moléculas de proteína producen un efecto emulsionador

e. Azúcar

El objetivo principal es servir de alimento para la levadura. En forma de mono y disacáridos los azúcares están listos para ser consumidos y dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan.

(Mesas y Alegre, 2009). Los tipos más empleados son la sacarosa o azúcar de caña y la maltosa que se encuentra en la harina de malta y en el extracto de la malta las funciones del son: alimento a la levadura, mejora el sabor del pan, mejora el color de la cáscara, ayuda a la conservación y aumenta el valor nutritivo (Morales, 2007).

f. Sal

Su objetivo principal es dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más fuerte, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan (Mesas y alegre, 2009).

La sal para uso de panificación debe poseer las siguientes características:

1. Granulación fina
2. Libre de impurezas

Las funciones de la sal son:

1. Mejora el sabor
2. Resalta los sabores de otros ingredientes
3. Controla la actividad de la levadura
4. Tiene una acción bactericida sobre microbios indeseables al proceso

g. Leche

La leche en polvo descremada es la que más se recomienda, porque se conserva a temperatura ambiente (fácil almacenamiento, sin refrigeración), por su fácil manejo para pesar y controlar como también favorece la absorción de agua de la harina (Cauvain y Young, 2008).

En panificación se emplean principalmente leche en polvo, aumenta el valor alimenticio, suaviza la miga, mejora el color de la corteza, mejora el sabor, la conservación, el rendimiento en pan y costo. La leche en polvo, se obtiene un aumento en el rendimiento del pan. Las masas elaboradas con leche líquida o en polvo, se trabaja mejor, pues son menos pegajosas. La masa de pan elaborada con leche tiende a resecar menos en el horno (Morales, 2007).

Cauvain y Young (2008) indican que las principales funciones de la leche son:

- Mejora el color del pan debido a la caramelización de la lactosa
- Le da mejor textura al pan, la masa queda suave y aterciopelada
- Le da mejor sabor al pan, la corteza sedosa estimula el apetito
- Incorpora al pan más nutriente, elevando su valor proteico
- Aumenta la absorción de agua y la masa trabaja mejor
- Mejora la conservación del pan, ya que retiene la humedad
- La grasa de la leche inhibe o retarda algo la fermentación, vuelve la masa flexible y elástica. Con ello, mejora el volumen, la miga resulta de poros pequeños y suaves. El producto se mantiene fresco durante más tiempo
- Las proteínas de la leche hacen la masa más esponjosa, son principalmente la caseína sensible al ácido y a la albumina sensible al calor

h. Aditivos antimicrobianos

Los propionatos son los más adecuados en panificación debido a que su actividad sobre las levaduras es mínima, permitiendo así una buena fermentación de la masa; específicamente, inhiben el crecimiento de bacterias y mohos. De los propionatos, destacan: el propionato de sodio y el propionato de calcio; ambos tienen la misma actividad, sin embargo, cuando en la formulación también hay carbonatos o bicarbonatos, se

recomienda la utilización del propionato de sodio, porque el propionato de calcio interfiere en la producción de dióxido de carbono (Badui, 2006).

Cantidades pequeñas (0.3%) de ácido propiónico también es utilizado para ayudar a impedir la formación de hongos durante el almacenamiento del producto (Cauvain y Young, 2008).

Los aditivos antimicrobianos, también se emplean para retardar la aparición de hongos en productos envasados, como pan de molde, pan de pascua, pre pizzas, etc. Los de mayor uso son a base de propionato de sodio o propionato de calcio en dosis de 5 a 10% (Morales, 2007).

i. Mejoradores de masa

Dentro de los mejoradores de panificación, no hay un mejorador universal debido a las diferentes variables directas constituidas por:

- La calidad de las harinas
- Las fórmulas de panificación
- Los procesos de panificación
- Los hábitos de consumo

También se debe tener en cuenta las variables económicas y climatológicas. Los mejoradores son premezclas de ingredientes para regularizar los procesos de panificación y mejorar la calidad del producto terminado. (Pedroza, 2011).

El mejorador es un producto de alto rendimiento que refuerza y acondiciona la masa, elaborado con insumos naturales que estimulan la actividad de la levadura especialmente para procesos directos y tipo esponja, además ayuda a dar textura a la masa y mejora la retención de gas, permitiendo una mayor tolerancia en el tiempo de desarrollo de los panes antes del horneado; de igual forma las ventajas al utilizar el mejorador son, ayudar a

tener una fermentación controlada y una producción de alta calidad. No contiene químicos cancerígenos, es un producto totalmente orgánico que incrementa la conservación del producto final, da mayor volumen de los panes, ayuda a producir un pan más uniforme y acorta el tiempo de amasado (Ordoñez y Oviedo, 2010).

2.1.3.3. Proceso para elaboración del pan integral

Los pasos más importantes en la elaboración del pan son la fermentación y el horneado. En la fermentación, la masa suele adquirir mayor tamaño debido a que la levadura libera dióxido de carbono durante su etapa de metabolismo, ocasionando que la masa se vaya aumentando el volumen paulatinamente a medida que avanza el tiempo. Durante de esta fase hay que poner especial cuidado en el control de la temperatura, debido a que la máxima actividad metabólica de las levaduras se produce a los 35 a 47 °C. En el horneado, dependiendo del tipo de pan, la masa es sometida a diferentes rangos de temperatura que oscilan entre 190 a 270 °C con tiempos de 12, 16 y 60 min. Durante esta etapa, nuevamente se obtiene un aumento del volumen del pan, al expandirse el CO₂ de la masa y un 5% de endurecimiento de la superficie debido al calor. Este endurecimiento se produce por la evaporación del agua de la superficie, ocasionando pérdida de peso de entre el 8 y 13 % de la masa (Ordoñez y Oviedo, 2010).

Según Mesas y Alegre (2016), existen tres sistemas generales de elaboración de pan integral determinados principalmente por el tipo de levadura.

- Directo: es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de unos 45 min antes de la división de la misma. No es útil en procesos mecanizados.

- Mixto: es el sistema más frecuente en la elaboración de pan integral. Utiliza simultáneamente levadura natural y levadura comercial. Requiere un reposo previo a la división de la masa de 10 a 20 min. Es el más recomendable cuando la división de la masa se hace por medio de divisora volumétrica.
- Esponja: es el sistema universalmente empleado en la elaboración de pan integral y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 – 40% del total de la harina, la totalidad de la levadura comercial y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede como en el método directo.

1.º Formación y desarrollo de la masa

Según Morales (2007), para la formación y desarrollo de la masa, se mezcla en forma homogénea el agua, harina, sal, levadura y, eventualmente, mejoradores, con la finalidad de airearla y hacerla flexible y elástica. Durante la mezcla de los constituyentes, el agua moja las partículas de almidón y de gluten, las moléculas de gluten se asocian en fibras y aprisionan el almidón en sus "mallas", además es preciso que la harina contenga al menos un 7% de gluten para poder envolver en la masa todos los gránulos de almidón. Posteriormente, la segunda etapa del amasado sirve para airear la masa y estirar el gluten a fin de suavizarlo, las burbujas de aire se localizan sobre todo en la materia grasa de la harina. El aire constituye un 20% del volumen de la masa. La fermentación comienza durante el amasado, pero la masa en movimiento no permite observarlo.

2.º El amasado mecánico

El amasado mecánico sigue todas las fases del amasado manual y hace confluir la masa en un sólo movimiento de aceleración. Se divide en dos partes: Primero, se mezclan todos los ingredientes necesarios para la masa, en la primera velocidad de la maquina mezcladora y se prolonga durante 5

min, aproximadamente, y, luego, el estirado se efectúa en segunda velocidad y su duración es de 10 a 20 min, donde el gluten es estirado y suavizado (Morales, 2007).

El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasadoras, siendo las de brazos de movimientos variados y las espirales (brazo único en forma de espiral) las más comúnmente utilizadas en la actualidad (Mesas y Alegre, 2016).

3.º División y boleado

Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa y su objetivo es reconstruir la estructura de la masa tras la división. Puede realizarse a mano, si la baja producción o el tipo de pan así lo aconsejan o puede realizarse mecánicamente por medio de boleadoras siendo las más frecuentes las formadas por un cono truncado giratorio (Mesas y alegre, 2016).

También se consigue la reorientación de la estructura del gluten al dar la forma de bola a la masa manualmente, además será de más fácil manejo en las operaciones siguientes. Antes de llevar a cabo el ovillado, es necesario dejar que los trozos reposen tapados con bolsa plástico o tela húmeda durante un cierto tiempo, no muy largo (5 a 10 min) en el que la masa sigue fermentando y, por tanto, mejorando su sabor. Si el reposo ha sido excesivo, el boleado tendrá que ser flojo (Morales, 2007).

4.º Fermentación

Consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares en etanol, CO₂ y algunos productos secundarios. En el caso de utilizar levadura de masa se producen en menor medida otras fermentaciones llevadas a cabo por bacterias. Los objetivos

de la fermentación son la formación de CO_2 , para que la masa se esponje y mejore el sabor del pan (Mesas y Alegre, 2007).

Las fermentaciones láctica, butírica, acética y la más importante, la fermentación alcohólica produce CO_2 y alcohol etílico; todas son necesarias para dar sabor y olor típico al pan. Por tanto, el pan integral debe admitir fermentaciones de 45 min a 2 h, pero en ningún caso con mucho volumen y cortezas finas que provocará una ruptura del pan. Es preferible poco volumen (Alvares y Tusa, 2008).

5.º Horneado

Es importante pre-calentar el horno antes de poner el pan, de lo contrario, se observará un pan demasiado grande, con una miga inapropiada además de que el producto perderá más humedad de lo normal. La temperatura del horno y la duración de la cocción varían según el tamaño y el tipo de pan; la temperatura oscila entre 220 y 275 °C, mientras que el tipo de cocción varía entre 45 a 50 min para panes de 2000 g; de 30 a 40 min para panes de 900 g; de 20 a 30 min para panes de 500 g y de 13 a 18 min para panes de menor peso (<500g) (Ordoñez y Oviedo, 2010).

En el horneado existe una transmisión de calor por conducción y convección ya que la parte de la masa en contacto con la base del horno absorbe el calor por conducción y la que está en contacto con el aire lo absorbe por convección del aire y por irradiación a la vez. El exceso de temperatura produce agrietamientos debido a una desecación demasiado rápida en el pan. Debido a la dilatación del gas por el aumento de temperatura del horno, la masa sufre un rápido aumento de volumen después de un tiempo, variable con el peso, forma y calidad de la masa (Ordoñez y Oviedo, 2010).

Normalmente se da mucho más tiempo en la primera cocción, pero en realidad lo que se busca es alcanzar en el interior del pan 55 °C para que

no se desarrolle la tercera actividad de las levaduras. Nunca se debe dejar que el pan tome color, ya que es básicamente la cocción final la responsable de la caramelización de los azúcares, pero a su vez se debe dejar el pan integral bien estructurado, puesto que es en esta etapa donde el pan queda formado totalmente. La temperatura y el tiempo van a depender del tipo de horno, su temperatura y otros factores; por lo general se aplican temperaturas de 200 a 240 °C por un tiempo de 10 a 15 min (Alvares y Tusa, 2008).

6.º Envasado del producto final

En esta etapa se toma en cuenta condiciones de empaque, de almacenamiento y distribución, de tal forma que el producto llegue a los consumidores con una calidad sensorial aceptable.

2.1.3.4. Control de calidad en el proceso de elaboración del pan integral

En el proceso de elaboración del pan es importante cuidar en cada etapa la calidad del producto, con la finalidad de obtener un producto con las características deseadas. En los siguientes párrafos se presentan las etapas de elaboración con sus respectivos controles de calidad.

- **Formulación.** Cumplir con la formulación ya establecida para obtener características constantes en el producto. Al manejarse sin medidas sin exactitud, se producen desbalances ocasionando que la masa no llegue a la consistencia deseada.
- **Amasado.** En esta etapa se da la formación de la estructura del gluten que retiene el gas producido durante la fermentación, dando lugar al volumen deseado en los productos de la panadería.
- **División y boleado.** El boleado debe ser realizado con por lo menos tres vueltas al baguette para mejorar la fuerza de la red de gluten.

- **Fermentación.** Durante la fermentación, la temperatura no debe ser superior a 35 °C. Es conveniente que la cámara de fermentación se mantenga a una humedad relativa constante. Al realizar la fermentación en lugares demasiado cálidos (>35 °C) tienen como consecuencia la obtención de panes con sabor desagradable, de estructura muy gruesa y sabor no característico.
- **Horneado.** Se debe lograr la correcta relación tiempo de cocción - temperatura de horno, debida a que: en un horno con baja temperatura y mucho tiempo de cocción genera un pan seco y con mucha corteza, por otro lado, temperaturas elevadas y poco tiempo de cocción genera un pan muy húmedo y se ablanda rápidamente.
- **Envasado.** Las piezas de pan serán envasadas de forma automática y llevadas hacia un almacén donde se guardarán hasta su comercialización (Uriol, 2014).

2.1.4. Estructura del pan

Según Perez (2008), cuando el pan sale del horno, su estructura se encuentra formada por dos zonas: miga y corteza.

a. Miga

La miga forma la mayor parte del pan y ocupa 53 y 57% del pan, dependiendo del tiempo de horneado. Se forma cuando ocurre la transformación de una dispersión celular de gas a espuma, lo cual ocurre durante la fermentación, dando lugar a una estructura de poros abiertos.

b. Corteza

Las temperaturas son mayores en la corteza durante el horneado, y causan la evaporación del agua. De esta forma, el contenido de humedad es menor que el de la miga. Además, que generan cambios de color característicos debido a las reacciones de oscurecimiento como Maillard y caramelización.

2.1.5. Características sensoriales del pan integral

Según Pérez (2008), las características sensoriales del pan son las siguientes:

- **Aspecto externo.** El pan debe presentar una forma característica (elíptica), con una sajada longitudinal al centro en la parte superior.
- **Color exterior.** La superficie exterior y la corteza deben presentar un color amarillo rojizo, el cual debe ser lo más uniforme posible.
- **Tipo de corteza.** Debe presentar una capa regularmente gruesa, dorada y debe ser lisa.
- **Color de la miga.** Debe ser blanca, con un matiz uniforme y sin manchas ni coloraciones.
- **Olor.** Debe ser característico, agradable.
- **Textura.** La corteza debe presentar una textura firme en forma de costra dorada, la característica que adquiere por la formación de gas durante la fermentación, no debe ser seca.
- **Sabor.** Debe ser característico, agradable y sabor ligeramente salado, no debe ser ácido.

2.1.6. Características microbiológicas del pan integral

En el Cuadro 5, se señalan las especificaciones microbiológicas del pan.

Cuadro 5. Especificaciones microbiológicas del pan

Especificación	Límite máximo (ufc/g)
Hongos	300
Mesófilos aerobios	10000
Mohos	50
<i>E. coli</i>	Negativo
Organismos coliformes	10
Cuenta total de <i>Staphylococcus</i>	Negativo

Fuente: Pérez (2008).

En general, el pan es un producto que se deteriora rápidamente ya que presenta cambios en el sabor, pérdida de humedad de la miga y endurecimiento. Adicionalmente, los microorganismos pueden crecer en el pan, representando otro factor de deterioro decisivo en la vida útil de este alimento. (Stanley y otros, 2007).

2.1.7. Deterioro del pan Integral

a. Envejecimiento

Según Luna y Bárcenas (2011), el pan es un producto que se deteriora rápidamente debido a que envejece. Esto causa pérdidas económicas considerables tanto al fabricante como al distribuidor y al consumidor. El envejecimiento se manifiesta como dureza de miga, textura fibrosa de la corteza, pérdida de agua y cambios en el sabor. Estas alteraciones son causadas por un conjunto de fenómenos complejos (retrogradación del almidón, migración del agua, alteraciones en los compuestos del aroma y del sabor e interacciones gluten-almidón), que ocurren simultáneamente y

se relacionan entre sí, haciendo el envejecimiento un proceso complicado. Se ha realizado un gran número de investigaciones con el fin de encontrar la forma de inhibir o redactar el envejecimiento, la mayoría de las cuales se han centrado en el uso de aditivos (enzimas, hidrocoloides, gluten, pentosanos, monoglicéridos, surfactantes, entre otros).

b. Retrogradación del almidón

Cuando la temperatura del almidón gelatinizado disminuye, se forma un gel progresivamente más rígido, que se retrae debido a que se elimina agua y a que las cadenas amilopectina se reorganizan bajo una forma cristalina mucho más generalizada que en el estado activo del almidón. Esta reorganización se denomina retrogradación (Luna y Bárcenas, 2011).

c. Pérdida y redistribución de agua

Si la humedad relativa del aire que rodea al pan recién retirado del horno es inferior a la actividad de agua del mismo, habrá una salida de agua del pan hacia el entorno, de lo contrario el pan gana agua. Por otro lado, la miga de pan recién horneado tiene una actividad de agua superior a la de la corteza; esta diferencia provoca que el agua que se encuentra en el interior del pan se desplace a la superficie. Adicionalmente la humedad de un constituyente de la miga a otro es generalmente aceptada como un factor que contribuye al envejecimiento (Luna y Bárcenas, 2011).

d. Interacciones gluten-almidón

La dureza del pan es el resultado de la formación de enlaces de hidrógeno entre los gránulos de almidón gelatinizado y la red de gluten en el pan, enlazándose juntos a la red de proteína y a los gránulos remanentes discontinuos. Durante el horneado se forman enlaces cruzados (enlaces de hidrogeno) entre el almidón y el gluten: luego durante el almacenamiento,

tato el número de interacciones como su fuerza se incrementa. En el recalentamiento, la frescura del pan se recupera debido a que los enlaces de hidrogeno y las madejas formadas entre moléculas de los polímeros del almidón y el gluten son rotos (Luna y Bárcenas, 2011).

e. Alteraciones e los compuestos responsables de sabor

Los cambios de sor más comúnmente observados se asocian con el desarrollo de sabores ácidos provenientes de actividad microbiana e la masa, los cuales son fácilmente detectados en el sabor de la miga. No toda esta actividad microbiana relacionada con el sabor viene de la levadura adicionada, algunas provienen de las levaduras y bacterias (especialmente bacterias acido lácticas) salvajes, presentes e forma natural en la harina. Usualmente se requiere varias horas de fermentación ates de que haya cambios significativos en el perfil del sabor de la miga del pan en algunos procesos, el sabor del pa puede mejorarse usado un pre-fermento, en el cual es posteriormente mezclado con el resto de los ingredientes para formar la masa para el proceso final (Luna y Bárcenas, 2011).

f. Enmohecimiento

Debido a sus características, el pan es susceptible a la germinación de mohos. Una vez que el pan ha salido del horno, el riesgo se incrementa si no es manipulado bajo condiciones estrictamente asépticas, ya que el aire es el medio por el cual las esporas de mohos llegan a él. Su crecimiento depende de la temperatura, la concentración de oxígeno (son aerobios estrictos) en el empaque y la contaminación del pan previa al empackado. Es por ello que se debe de poner especial atención mientras es enfriado, rebanado, envasado y almacenado. El proceso de deterioro se acelera si el pan es guardado dentro de un recipiente cerrado y todavía no está completamente frío (después de salir del horno), debido al vapor que se genera aumentando la humedad del ambiente en el que se encuentra (Stanley, 2007).

2.2. Generalidades de la maca

2.2.1. Definición

La raíz de maca es un tubérculo similar a una pequeña zanahoria, con sabor ligeramente dulce y de color parecido a la patata, considerado durante siglos alimento afrodisíaco por las poblaciones indígenas de los Andes. Pertenece a la familia de las crucíferas, así denominadas por la cruz que forman los cuatro pétalos de la corola de la flor, que son plantas herbáceas anuales o vivaces, de poca altura, sin látex, con hojas alternas y flores en racimos. Esta familia comprende unas 3.000 especies de los países templados y fríos, sobre todo boreales, y *Lepidium* es un género importante, gran número de especies produce glucósidos sulfurados y que la mayoría contiene vitamina C (Guijarro, 2011).

La maca es una raíz reconocida como especie original de los andes centrales del Perú (meseta de Bombón), que forma parte del grupo de las plantas domesticadas por los antiguos peruanos entre el 3800 a.C. y el 800 a.C. (Salcines, 2009).

2.2.2. Ecotipos de maca

Diversos estudios sobre la maca indican que en ésta no hay variedades, sino únicamente eco tipos, teniendo en cuenta el color externo de la raíz, las cuales son, principalmente: amarillo, negro, rojo y morado (Guijarro, 2011).

En el Cuadro 6, se muestran los ecotipos de maca, teniendo en cuenta la combinación de los colores externos.

Cuadro 6. Lista de ecotipos de maca

Color externo de la raíz	(%)
Amarillo	47.8
Rojo-blanco	16.5
Morado-blanco	9.0
Blanco-rojo	6.3
Plomo	5.4
Negro	4.2
Rojo-amarillo	3.7
Blanco	2.2
Blanco-morado	1.6
Amarillo-rojo	1.3
Plomo-claro	0.8
Morado-plomo	0.7
Amarillo-plomo claro	0.5

Fuente: Guijarro (2011).

2.2.3. Composición y valor nutricional de la maca

En la raíz de maca destaca su contenido proteico (14-15%) y su riqueza en aminoácidos (dieciocho, de los siete esenciales). Su heterogénea composición incluye vitaminas A, C, E y del grupo B, alcaloides (macaínas, macaridina, macamidias) y ácidos grasos (láurico, mirístico, palmítico, palmitoleico, oleico, linoleico, araquidónico, lignocérico), esteroides (campisterol, tigmasterol, sitosterol, brassicasterol y ergosterol) y glucosinolatos (isotiocianato de bencilo y de p-metoxibencilo), triterpenos y saponinas de estructura esteroideal, compuestos polifenólicos, taninos y flavonoides; minerales, especialmente calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio, oligoelementos como zinc, selenio, hierro y manganeso, y fibra (9-10%) (Guijarro, 2011).

El valor nutricional de la raíz de maca desecada es alto, semejante a los granos de cereal como el maíz, el arroz, y el trigo. Contiene 60-75% de carbohidratos, 10-14% de fibra, y 2.2% de lípidos. El contenido proteico de la maca existe principalmente en la forma de polipéptidos y amino ácidos (incluyendo cantidades significativas de arginina, serina, histidina, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, valina, fenilalanina, tirosina, y treonina. También tiene alrededor de 250 mg de calcio, 2 g de potasio, y 15 mg de hierro en 100 g de raíz desecada-y cantidades importantes de ácidos grasos (incluyendo ácidos linolénico palmítico, y oleico). La maca contiene esteroides (alrededor de 0.05% a 0.1%) y otras vitaminas y minerales. Además de su suministro de nutrientes esenciales, la maca contiene alcaloides, taninos y saponinas (Guijarro, 2011).

La raíz de la maca fresca contiene alrededor de 1% de glucosinolatos-químicos vegetales encontrados en muchas plantas en la familia Brassicaceae (brócoli, col, coliflor, y otros vegetales crucíferos). Mientras que todavía no se han reportado nuevos glucosinolatos en la maca, varios de los químicos encontrados en este grupo de conocidos químicos vegetales se documentan como preventivos de cáncer (Guijarro, 2011).

Los principales químicos vegetales incluyen: alcaloides, amino ácidos, beta-ecdysone, calcio, carbohidratos, ácidos grasos, glucosinolatos, hierro, magnesio, p-methoxybenzyl isothiocyanate, fósforo, potasio, proteína, saponinas, sitosteroides, stigmasterol, taninos, vitamina B1, vitamina B2, vitamina B12, vitamina C, vitamina E, y zinc. (Guijarro, 2011).

La composición química principal de la maca se muestra en el Cuadro 7, donde son resaltantes los niveles de proteína, carbohidratos y fibra.

Cuadro 7. Composición química de la maca amarilla

Componentes primarios	Mínimo – máximo
Humedad (%)	5.00 – 19.62
Proteínas (%)	10.00 – 18.25
Cenizas (%)	3.46 – 6.43
Grasa (%)	0.20 – 2.20
Fibra (%)	3.85 – 8.50
Carbohidratos (%)	51.81 -76.05

Fuente: Guijarro (2011).

En el Cuadro 8, se muestra el contenido vitamínico, donde la cobalamina y la niacina son las principales.

Cuadro 8. Vitaminas en la maca amarilla en 100 mg

Vitamina	Cantidad (mg)
Caroteno (A)	0.07
Tiamina (B ₁)	0.15 – 1.17
Riboflavina (B ₂)	0.31 – 0.76
Ácido ascórbico (C)	0.80 – 3.52
Piridoxina (B ₆)	1.0
Cobalamina (B ₁₂)	125.0
Niacina (B ₃)	37.27 – 43.03

Fuente: Guijarro (2011).

2.2.4. Harina de maca

La raíz es secada al sol a 4000 metros sobre el nivel del mar, luego se recepciona y selección de los hipocótilo, para luego ser clasificados y desinfectados. Como siguiente paso se somete a un proceso de tostado, controlando las temperaturas (entre 45 y 60 °C) durante un tiempo preciso (2 h) de tal forma que no haya degradación de las proteínas, evitando su

desnaturalización, se realiza una molienda y un tamizado que logra la homogeneización de la partícula, finalmente se envasa en sus diferentes presentaciones, obteniendo de esta manera la harina de maca pre-tostada, con un excelente perfil de aminoácidos, un agradable olor y sabor a tostado, logrando darle a la raíz un mayor valor agregado. (Guijarro, 2011).

En el Cuadro 9, se presenta el valor químico nutricional completo de la harina de maca.

Cuadro 9. Valor químico y nutricional de la harina de maca amarilla

Compuesto	Cantidad (100g)
Calorías (kcal)	176 – 384
Agua (%)	5.0 – 19.62
Proteína (%)	10.10 – 18.25
Grasa (%)	0.2 – 2.2
Cenizas (%)	3.46 – 6.43
Carbohidratos (%)	51.81 – 76.05
Fibra (%)	3.85 – 8.50
Carotenos (mg)	0.07
Tiamina B ₁ (mg)	0.15 – 1.17
Ácido Ascórbico (mg)	0.80 – 3.52
Niacina (mg)	37.27 – 43.03
Rivoflavina B ₂ (mg)	0.31 – 0.76
Calcio (mg)	150.00 – 650.35
Magnesio(mg)	70.0 – 114.63
Hierro (mg)	9.93 – 24.37
Fosforo (mg)	183 – 329
Potasio (mg)	1000 – 2050
Cobre (mg)	5.9

Fuente: Guijarro (2011).

Aplicaciones en la industria

Además de su consumo como alimento tradicional, la maca se comercializa en el país como “producto nutricional” y “producto para la salud”. En el primer caso, se vende generalmente en forma de harinas, jugos y bebidas preparadas industrialmente, o enriqueciendo otros productos, como la avena. Como producto para la salud, se le reconocen propiedades reconstituyentes, antiestresantes y reguladoras del sistema reproductor del hombre y la mujer, y se comercializa sobre todo en tabletas y cápsulas de extractos secos o de maca gelatinizada, aunque también se vende en forma de harina para su consumo directo. La maca también es usada como ingrediente en el arte culinario peruano y en la medicina naturista, haciéndose conocida a nivel internacional por sus múltiples cualidades y propiedades (Guijarro, 2011).

La maca es una planta herbácea anual originaria de los Andes Centrales del Perú. Fue un producto valioso para los Incas no sólo por su alto valor nutricional sino por su uso en la industria de la medicina, especialmente como revitalizante, afrodisiaco y potenciador de la fertilidad. Entre los constituyentes químicos de la maca que se han relacionado con su actividad, destacan: ácidos grasos (macaeno) y sus correspondientes amidas (macamidas), glucosinolatos, alcaloides (lepidilinas A y B, macaridina), esteroides, ácido (1R, 3S)-1-metiltetrahidro-B-carbolin-3-carboxílico y polifenoles. Entre las actividades confirmadas en animales o en humanos, cabe mencionar el aumento de la fertilidad y la mejora de la actividad sexual. Además, actualmente se le han atribuido otras actividades como citostática y antitumoral, antioxidante e antihipoglucemiante (Sifuentes y otros, 2007).

2.3. Evaluaciones del pan integral de maca

2.3.1. Contenido proteico

Los componentes químicos de las harinas, principalmente las proteínas, determinan el comportamiento reológico y la calidad de las mismas. En los programas de mejoramiento genético del trigo, además de evaluar las características agronómicas y susceptibilidad a enfermedades en este cultivo, es necesario evaluar el potencial de una harina para un determinado uso final. Se realizaron pruebas de panificación para evaluar las cantidades relativas de proteínas poliméricas y monoméricas. Las cantidades relativas de proteínas poliméricas y monoméricas se determinaron de los extractos de buffer-SDS separados en el sistema SE-HPLC, sobresaliendo tres harinas de las cinco líneas experimentales por su mayor proporción (37, 40 y 43%) (Vázquez y otros, 2009).

El contenido proteínico de los alimentos puede determinarse por medio de diversos métodos. La forma más habitual es su cuantificación de forma indirecta y aproximada, bien a partir del contenido en nitrógeno de la muestra, o bien deduciendo su cantidad a partir del contenido de uno o dos aminoácidos particulares que conforman las proteínas, fáciles de identificar y de cuantificar por su reactividad química específica. Este segundo procedimiento conlleva una mayor inexactitud. Desde hace más de 100 años se está utilizando el método Kjeldahl para la determinación del nitrógeno en una amplia gama de muestras (alimentos y bebidas, piensos, forrajes, fertilizantes) para el cálculo del contenido en proteína. También se utiliza el método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno en aguas residuales y suelos. Es un método oficial descrito en múltiples normativas: AOAC, USEPA, ISO, Farmacopeas y distintas Directivas Comunitarias. La convención general es que la totalidad del nitrógeno de la muestra está en forma proteica, aun cuando la realidad es que, según la naturaleza del producto, una fracción considerable del nitrógeno procede de otros

compuestos nitrogenados (bases púricas y pirimídicas, creatina y creatinina, urea, amoníaco, etc.), por ello se denomina “proteína bruta” o “proteína total” a la obtenida por este método. Con este análisis, sin embargo, no se determina el nitrógeno nítrico, el cianhídrico, el de la hidracina, el de grupos lazo y el nitrógeno de un núcleo cíclico (García y Fernandez, 2012).

2.3.2. Aceptabilidad general

La exigencia del consumidor por nuevos y mejores productos alimenticios, junto con la rapidez con que se producen los cambios de gustos y preferencias, genera una permanente necesidad de innovar en el desarrollo de productos. Esta necesidad de innovación va más allá de la inocuidad de los alimentos y contempla también la calidad sensorial. La industria alimentaria, por lo tanto, debe responder a estas exigencias optimizando la calidad sensorial de sus productos, lo que se traduce en maximizar el valor de la aceptación del alimento obtenido a partir de unos ingredientes determinados, sin que ello suponga un coste excesivo de la producción (Loo y otros, 2010).

La aceptabilidad general, la evaluación sensorial, el análisis de alimentos y otros materiales por medio de los sentidos y son técnicas de medición y análisis tan importantes como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. No existe ningún otro instrumento que pueda reproducir o reemplazar la respuesta humana; por lo tanto, la aceptabilidad general resulta un factor esencial en cualquier estudio sobre alimentos (Rodríguez, 2014).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ciencia de Alimentos y planta piloto de la Escuela Profesional del Ingeniería en industrias alimentarias de La Universidad Privada Antenor Orrego.

3.2. Materia prima

- Harina de maca, marca Inkanal
- Harina integral de trigo, marca Alicorp

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Insumos

- Levadura seca instantánea, marca Puratos
- Azúcar rubia, marca Cartavio
- Grasa vegetal, marca Famosa
- Sal yodada, marca Premium Emsal
- Leche en polvo entera, marca Anchor
- Mejorador de masas, marca Unipan
- Bolsas de polietileno de alta densidad (densidad: 0.90 g/cm³)

3.3.2. Reactivos

- Solución de ácido clorhídrico 0.0959 N
- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N
- Ácido bórico 0.1 N

3.3.3. Equipos e instrumentos

- Horno a convección rotativo, marca Nova, Modelo Max 750
- Cámara de fermentación marca Nova, Modelo Max 750
- Amasadora – Sobadora. marca Nova. Modelo k25. Capacidad 40 kg
- Termómetro digital. marca Omron MC – 343F
- Balanza analítica. marca Mettler Toledo. Modelo AB204. Capacidad 210 g.aprox. 0.0001 g
- Balanza comercial marca MOVBA. Modelo Map22. Capacidad 12 kg
- Tamiz N.º 100. marca Tyler

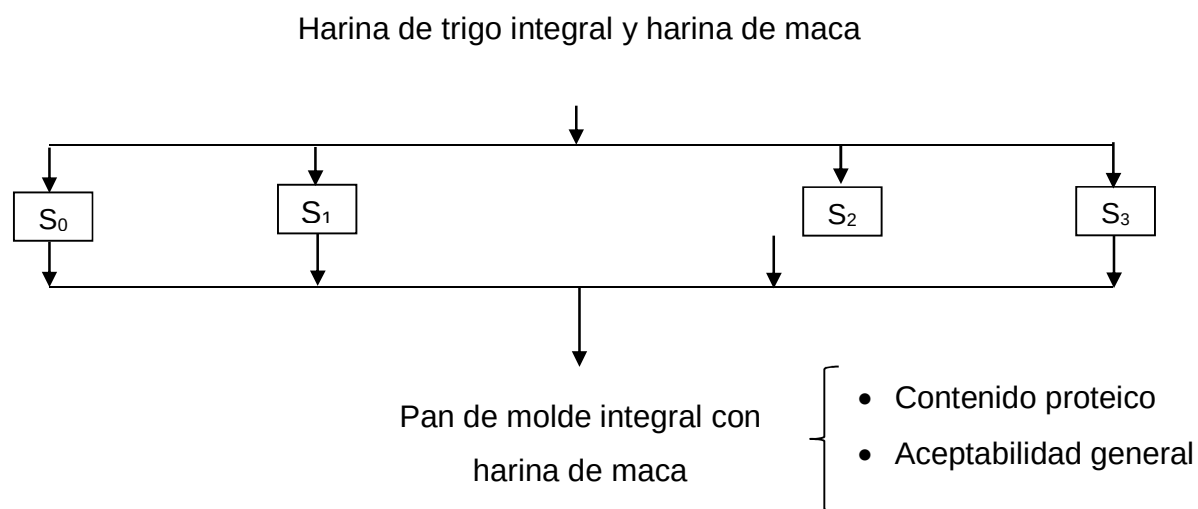
3.4. Metodología

3.4.1. Esquema experimental de pan integral con maca

El esquema experimental se muestra en la Figura 1. La variable independiente que la sustitución de harina de trigo por harina de maca; y como variables dependientes el contenido proteico y la aceptabilidad general de pan integral.

3.4.2. Descripción del proceso de elaboración de pan integral con maca

En la Figura 2, se presenta el diagrama de flujo para la elaboración de pan integral con harina de maca.



LEYENDA

S0: Sustitución de harina de trigo por harina de maca en 0%

S1: Sustitución de harina de trigo por harina de maca en 5%

S2: Sustitución de harina de trigo por harina de maca en 10%

S3: Sustitución de harina de trigo por harina de maca en 15%

Figura 1. Esquema experimental para la elaboración de pan integral con harina de maca

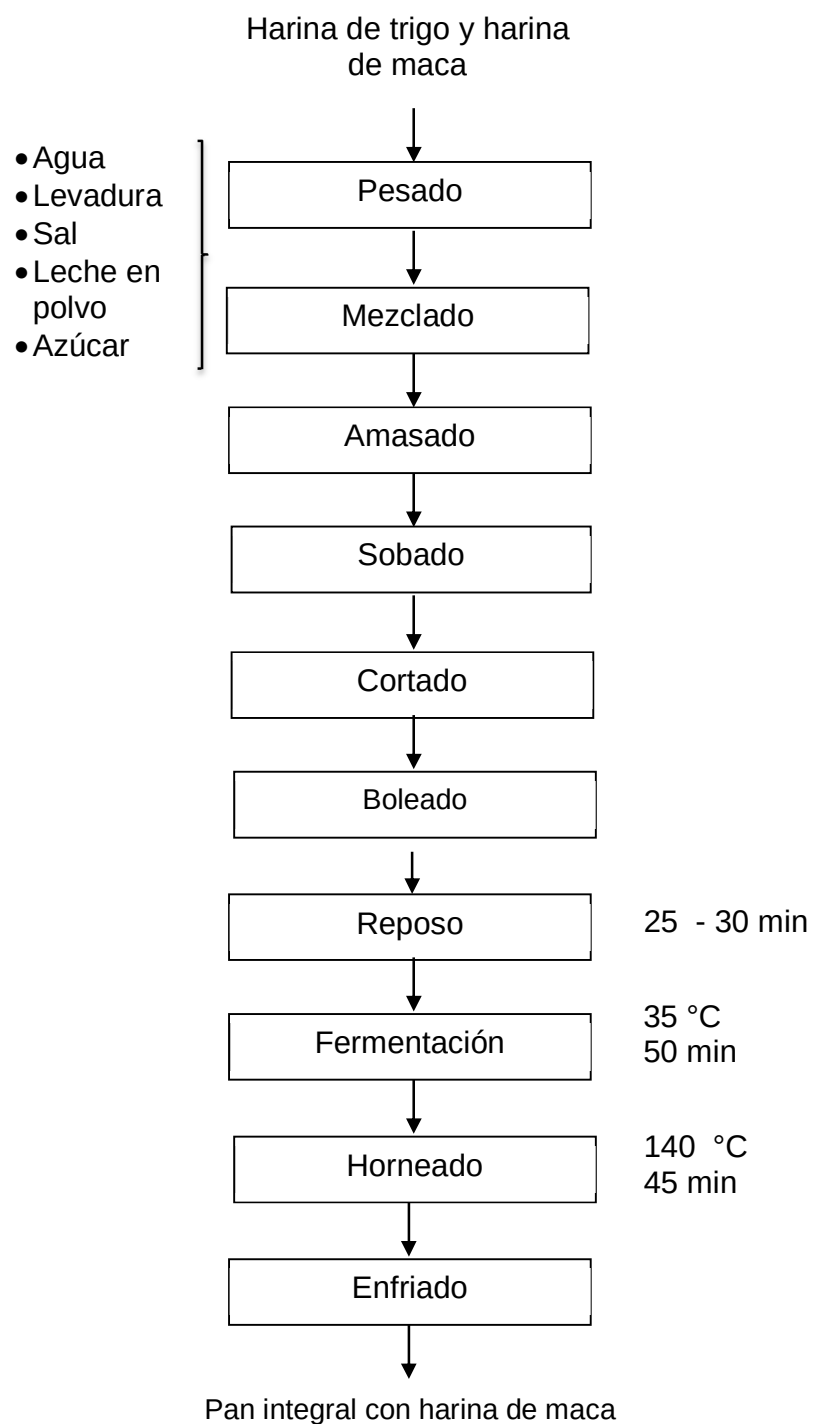


Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de pan integral con harina de maca]

3.4.3. Descripción del proceso de elaboración del pan integral de maca

Se describe cada una de las operaciones para elaborar el pan integral con harina de maca según el diagrama de flujo de la Figura 2.

- **Pesado.** En una balanza convencional, se pesó cada uno de los ingredientes indicados de manera exacta para la elaboración del pan integral. En esta operación se utilizó.
- **Mezclado.** Se agregaron todos los ingredientes dentro de la amasadora sobadora para su posterior mezclado en el instante que se agregó el agua.
- **Amasado y sobado.** Se realizó para la homogeneización y oxigenado de la masa, el proceso se realizó hasta obtener suficiente elasticidad. Se observó poros blancos que determinaron la buena oxigenación. La operación se realizó en velocidad 1 durante 10 min.
- **Boleado.** Manualmente se formaron bolas con la finalidad de producir una capa seca en las piezas individuales hasta que admitan un formado suave y coexistan desgarres en la masa en el formado. Dicha operación se realizó de forma manual.
- **Reposo.** Ya formada la masa, se dejó reposar aproximadamente durante 25 min con la finalidad de que la masa ya homogeneizada se hidrate.
- **Fermentación.** Se realizó en una cámara fermentadora a 35°C durante 50 min. Este proceso permitió que se produzca la suficiente cantidad de gas retenido en la masa.
- **Horneado.** Fermentada la masa, se introdujo en el horno. Este proceso se realizó a 140 °C durante 45 min.
- **Enfriado.** Se retiraron los panes y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para su posterior manipulación.
- **Envasado.** Se tomaron 10 piezas de pan para ser envasadas en bolsas de polietileno de alta densidad.

3.4.3.1. Formulaciones para la elaboración del pan integral

En el Cuadro 10, se presenta las formulaciones para la elaboración de 100 g de pan integral

Cuadro 10. Formulaciones para la elaboración del pan integral de maca para 100 g de pan

Ingrediente	Formulación base (patrón)	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Harina de trigo integral (%)	50.50	55.50	50.50	45.50
Harina de maca (%)	0.00	5.00	10.00	15.00
Levadura (%)	1.01	1.01	1.01	1.01
Azúcar (%)	5.05	5.05	5.05	5.05
Grasa (%)	12.62	12.62	12.62	12.62
Sal (%)	1.01	1.01	1.01	1.01
Agua (%)	27.70	27.70	27.70	27.70
Leche en polvo (%)	0.50	0.50	0.50	0.50
Emulsionante (%)	1.50	1.50	1.50	1.50
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: Basado en Ruiz (2011)

3.5. Métodos de análisis

A. Contenido proteico

Se utilizó el método de Kjeldahl A.O.A.C. (1980). Se introdujeron 5 mg de muestra en un tubo de digestión con 3 g de mezcla catalizadora. Se adicionaron 10 ml de H₂SO₄ concentrado. Posteriormente se procedió a la digestión de la proteína calentando la mezcla anterior hasta que la disolución adquiriera un color ligeramente claro y emita humo blanco denso. El nitrógeno proteico se transformará en sulfato de amonio por la acción de ácido sulfúrico en caliente. Después de enfriar se adicionará 50 ml agua destilada al tubo de digestión para posteriormente agregar en cantidad suficiente hidróxido de sodio 10 N y así el amoníaco que se libere será arrastrado a través del tubo refrigerante que se condensará y se recogerá sobre una disolución de ácido bórico. Cuando concluya la destilación y haya viraje del indicador se procederá a la titulación con HCl valorado a 0.1 N. Se anotará el gasto, para que se apliquen todos los datos sobre la siguiente fórmula.

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{\text{mL HCl} \times N \text{ ácido} \times \text{miliequivalente de nitrógeno}}{\text{Peso muestra(g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína total} = (\% \text{ nitrógeno})(6,25)$$

Meq. Nitrógeno: 0.014 g

B. Aceptabilidad general

Las muestras de pan se sometieron a un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad general utilizando una escala hedónica estructurada de 7 puntos, donde 7: me gusta muchísimo, 6: me gusta mucho, 5: me gusta bastante, 4: ni me ni me disgusta, 3: me disgusta bastante, 2: me disgusta

mucho y 1: me disgusta muchísimo. La prueba se realizó con 30 panelistas no entrenados, consumidores de pan integral y representantes del público objetivo entregándoles 4 muestras con un peso aproximado de 10 g, correspondientes a cada tratamiento. Cada una de ellas fue entregada a los panelistas con una tarjeta de evaluación sensorial (Anexo 3), y así cada uno de ellos asignó una calificación de acuerdo con el grado de aceptabilidad mencionado anteriormente (Rodríguez, 2014).

3.6. Método estadístico

El método estadístico correspondió a un diseño completamente al azar con un factor (sustitución de harina de trigo por harina de maca), con cuatro repeticiones. Para contenido proteico se empleó la prueba de Levene modificada para determinar la homogeneidad de varianzas; posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANVA), y a continuación, al existir diferencias significativas ($p < 0.05$) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos y se determinó de esta manera el mejor tratamiento. La aceptabilidad general fue evaluada mediante las pruebas de Friedman y Wilcoxon.

Todos los análisis estadísticos se realizaron a un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software estadístico Origin® Pro 2015.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido proteico en pan integral con harina de maca

En la Figura 3 se muestra el contenido proteico en el pan integral con la sustitución de harina de trigo por la harina de maca, donde se observa que al aumentar la harina de maca el contenido proteico aumento de 7.65 a 22.60%. Resultados similares fueron reportados por Sanz (2010) quien investigó sobre el desarrollo de panes especiales con harina de amaranto (Sustitución de 25 y 50%), donde el contenido proteico aumento de 6.46 a 17.56%.

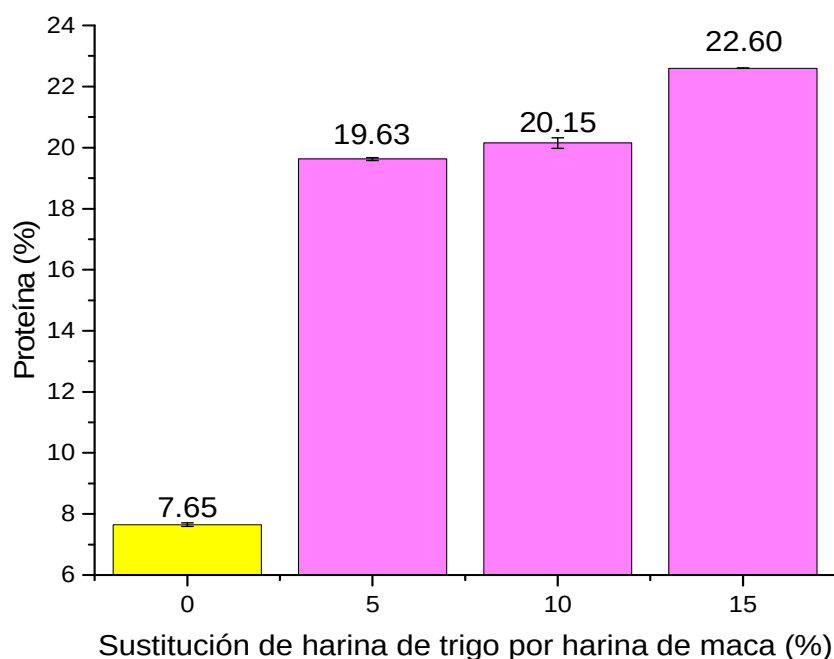


Figura 3. Contenido proteico de pan integral con harina de maca

La desproporcionalidad en los resultados podría haber sido ocasionada por una mayor presencia de fibra y menor solubilidad de proteínas, debido a que durante el horneado de 140°C por 30 minutos se formarían enlaces resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas. Este hecho fue

reportado por algunos investigadores quienes encontraron que el tratamiento térmico excesivo además de desnaturalizar la proteína, produce sustancias indigestibles entre los aminoácidos y azúcares denominados productos de la reacción de Maillard, así como, la formación de compuestos complejos entre aminoácidos como lisoalanina en las harinas de origen vegetal que no son hidrolizados por las enzimas digestivas afectando la digestibilidad y solubilidad de la proteína reduciendo de ésta manera el valor proteico, la energía digestible y metabolizable de la dieta. (Payano y Payano, 2010).

Bautista y otros (2007), en la realización del desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. Determinaron que la sustitución del 17% de harina integral por harina de soya incrementaron 30.24% el contenido proteico, la sustitución de 10% y 5% por soya y chía respectivamente dieron como resultado 25.31% de contenido proteico, en la sustitución de harina integral de trigo por 10 y 5% de soya y linaza dieron un resultado 25.09% de contenido proteico, además en la sustitución de harina de trigo integral por 10,5% y 5% de soya chía y linaza dieron como resultado un pan integral con 23.23% de contenido proteico.

En el Cuadro 11 se presenta la prueba de Levene modificada que fue aplicada para los valores de contenido proteico en el pan integral con harina de maca.

Cuadro 11. Prueba de Levene modificada para el contenido proteico del pan integral con harina de maca

Variable	Estadístico de Levene	p
Proteína (%)	2.217	0.139

La prueba de Levene modificada se aplicó para determinar la existencia de homogeneidad de varianza. Se determinó existencia de homogeneidad de varianza ($p > 0.05$) por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Tukey.

En el Cuadro 12 se presenta el análisis de varianza para los valores de contenido proteico en el pan integral con harina de maca.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el contenido proteico del pan integral con harina de maca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p
Sustitución	3	538.384	179.461	20018.918	0.000
Error	12	0.108	0.009		
Total	15	538.491			

El análisis de varianza muestra que la sustitución de harina de trigo por harina de maca presento efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido proteico en el pan integral. Resultados similares se encontraron en las formulaciones propuestas de sustitución de harina integral (5, 10 y 17%) por harina integral de linaza, chía y soya, donde se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). (Bautista y otros, 2007).

En el Cuadro 13, se presenta la prueba de Tukey para el contenido proteico en el pan integral con harina de maca.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para el contenido proteico del pan integral con harina de maca

Sustitución de harina de trigo por harina de maca (%)	Subgrupo			
	1	2	3	4
0	7.65			
5		19.63		
10			20.15	
15				22.60

En el subgrupo 4 se tiene al tratamiento con la sustitución de harina de trigo por harina de maca al 15% que brindo el mayor contenido proteico (22.60%) en pan integral con harina de maca.

Alvares y Tusa (2009) presentaron resultados similares en elaboración de pan dulce precocido sustituido con harina de quinua (18%), donde conforme a la prueba de Tukey, fue la que brindo mayor contenido proteico (13.1%).

4.2. Aceptabilidad general del pan integral con harina de maca

La aceptabilidad general del pan integral con harina de maca fue evaluada por un panel conformado por 30 personas, estos eran jueces no entrenados y consumidores de pan integral. Evaluaron la aceptabilidad general en la que se usaron pruebas de escala hedónica de siete puntos (Anexo 2).

En la Figura 4 se presentan las calificaciones de aceptabilidad general en el pan integral con sustitución de la harina de trigo por harina de maca,

donde se observa que al aumentar la sustitución de 0 a 10% el promedio aumento de 4.83 a 5.63, lo que demuestra que este porcentaje de sustitución fue la mejor aceptación general, además con una sustitución del 15% el promedio disminuyó a 2.77. Los panelistas brindaron comentarios aduciendo que con esta sustitución los panes tenían un sabor amargo.

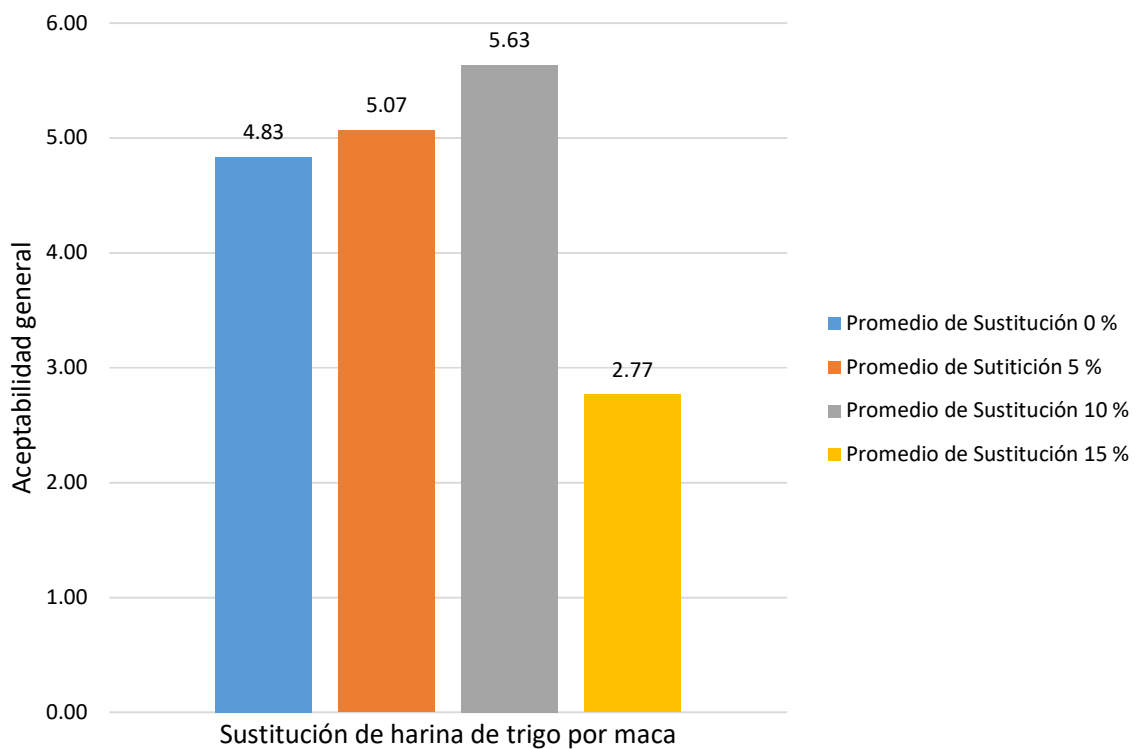


Figura 4. Aceptabilidad general del pan integral con harina de maca

En el Cuadro 14 se presenta la prueba de Friedman para aceptabilidad general de pan integral con harina de maca, donde existió diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, además el tratamiento con 10% de sustitución de harina de trigo por harina de maca presento el mayor rango promedio de 3.43 y con moda de 6 correspondiente a la percepción de me gusta muchísimo.

Cuadro 14. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general del pan integral con harina de maca.

Sustitución de HTI x HM (%)	Rango promedio	Moda
0	2.60	5
5	2.88	5
10	3.43	6
15	1.08	3
Chi-Cuadrado		54.630
P		0.000

Castillo, (2009) estudio la aceptabilidad general en panes de molde donde se determinó que existió una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la adición de harina de soya y concentrado proteico de suero de queso (5 y 6%).

En el Cuadro 15 se presenta la prueba de Wilcoxon para aceptabilidad general de pan integral con harina de maca, donde se comparó el tratamiento con mayor rango promedio (10% de sustitución de harina de trigo por harina de maca) con los demás panes con harina de maca, donde se observó que fue significativamente diferente ($p < 0.05$), en comparación, con los demás tratamientos.

Cuadro 15. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en el pan integral con harina de maca.

Sustitución de HTI x HM (%)		Z	p
10	0	3667.	0.000
	5	2.678	0.007
	15	4.828	0.000

Se eligió como mejor tratamiento al pan integral elaborado con una sustitución de harina de trigo integral por harina de maca al 10% debido a que presentó una aceptabilidad distinta a las demás muestras, teniendo un ligero sabor dulce con el aroma propio de la maca.

Similar resultado encontró Castillo (2013), en panes de molde donde determinó que el tratamiento de 5% de harina de soya y 6% de concentrado proteico de suero de queso fue elegido como mejor tratamiento ya que este también presentó un sabor agradable (ligeramente dulce).

V. CONCLUSIONES

Existió efecto significativo de la sustitución de harina de trigo por harina de maca sobre el contenido proteico y la aceptabilidad general del pan integral.

La sustitución de harina de trigo por harina de maca al 15% permitió obtener el mayor contenido proteico (22.06%) en pan integral.

La sustitución de harina de trigo por harina de maca al 10% permitió obtener las mayores calificaciones en aceptabilidad general con promedio de 3.43 y moda de 6 correspondiente a la percepción de me gusta muchísimo en pan integral.

VI. RECOMENDACIONES

Incluir como variable independiente temperaturas de horneado del pan integral y evaluar como variables independientes el color, volumen específico, textura instrumental y contenido de fibra dietética.

VII. BIBLIOGRAFIA

Alvarez, L., Wijngaard, H., Arendt, E. y Gallagher, E. 2009. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking.

Álvarez, B. y Tusa, M. 2009. Elaboración de pan dulce precocido enriquecido con harina de quinua. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

Amaro, J. 2007. Manual Procesos y técnicas de panificación. Departamento de investigación y desarrollo. Honduras.

Badui, D. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Pearson educación. México.

Bautista, M., Castro, A., Camarena, E., Wrobel, K., Wrobel, K., Guadalupe, A., Guzmán, A., Gamiño, Z., y Zanella, V. 2007. Desarrolló de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Castaño, M. 2008. Maca: composición química y propiedades farmacológicas. Fundación Instituto Suramericano de Plantas Medicinales. Bogotá, Colombia.

Castillo, L. 2009. Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por puré de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en las características reologicas de las mezclas y en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de galletas dulces. Tesis para Obtener el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Collazos, C.; Alvistur, E.; Vásquez, J.; Quiroz, A.; Faching, A. y Hernández, E. 2006. Tablas peruanas de composición de los alimentos. 7ma edición. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Humana. Lima, Perú.

Cauvain, S. y Young, L. 2008. Productos de panadería. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.

De la Cruz, 2009. Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivium*) por harina de quinua (*chenopodium quinoa wlld*) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Fierro, H. y Jara, J. 2010. Estudio de la vida útil del pan de molde blanco. Tesis para obtener el Grado de Tecnólogo en Alimentos. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Garcia, E. y Fernandez, I. 2012. Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politecnica de Valencia. España.

Godoy, M. 2010. Análisis químico, evaluación sensorial y valor proteico de una galleta de harina de trigo y harina de arveja dulce. Maestría en Alimentación y Nutrición. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Guijarro, L., 2011. Proyecto de factibilidad para la producción y exportación de raíz de maca al mercado chino. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniería en Comercio Exterior, Integración y Aduanas. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.

Hoseney, C. 1996. Principios de la ciencia y la tecnología de los cereales. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.

Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015. Encuesta per cápita del Consumo de Alimentos y Bebidas. Lima, Perú.

Karaoglu, M. 2006. Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked White bread crumb. *Internacional. Journal of Food Properties*. 9; 609 – 622.

Loo, E., Tesén, A. y Valdez J. 2013. Optimización de la aceptabilidad general mediante pruebas afectivas y metodología de superficie de respuesta de una bebida a base de una mezcla seca de polvo de cacao. *Revista Scientia Agropecuaria*. Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de: www.sci-agropecu.unitru.edu.pe

Luna, M. y Bárcenas, M., 2011. Envejecimiento del pan: Causas y soluciones. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y ambiental. Universidad de las Américas Puebla. Mexico.

Mandala, I., Karabela, D. y Kostaropoulos, 2007. Physical properties breads containing hydrocolloids stored at low temperature. I. Effect chilling. *Food Hydrocolloids*, 2; 1397 – 1405.

Mesas, J. y Alegre, M. 2009. El pan y su proceso de elaboración. *Revista Mexicana de Ciencia y Tecnología Alimentación*, 30; 307.

Minsa,. 2013. Estado nutricional en el Perú por etapas de vida. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición humana, Lima, Perú.

Morales, A. 2007. Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial Acribia. 2da Edición. Zaragoza, España.

Norma del codex para la harina de trigo, 2007. Codex standard. Recuperado de www.codexalimentarius.net

Ordoñez, B. y Oviedo, A., 2010. Alternativas de aprovechamiento de harinas no tradicionales. Tesis para optar por el grado de ingeniero de alimentos. Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción. Universidad Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Payano, N. y Payano, N., 2010. Determinación de aceptabilidad y digestibilidad de la galleta de trigo con sustitución parcial de harina sucedánea de maca (*lepidium peruvianum chacón*). Tesis elaborada para la obtención de Ingeniero Industrial. Junín, Perú.

Pedroza, N. 2011. Manual para el participante. Elaboración de masas. Programa de Apoyo a la Mejora del Clima de Negocios e Inversiones en Nicaragua. Nicaragua.

Perez, M. 2008. Características sensoriales del pan. Universidad de Córdoba. Departamento de investigación y desarrollo. Argentina, Córdoba. Recuperado de: www.uco.es/dptos/bajada/menpan.

Quispe, J. 2008. Utilización de la harina de algarroba (*Prossopis spp.*) como fuente de fibra alimentaria y su incorporación en panes fortificados. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú.

Radmila, S., Glamoclija, D. y Demin M., 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) as an ingredient in bread formulations. Recuperado de: www.elsevier.com/locate/jcs.

Rodríguez, G., 2014. Efecto de la sustitución de harina de trigo por una proporción de la mezcla harina de cáscara de papa: harina de papa sobre

el color, textura, fibra y aceptabilidad general en galletas dulces. Tesis para optar el Título de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú

Romero, N. 2011. Métodos de análisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Recuperad de: www.fao.org

Ruiz, M. 2011. Efecto del tipo de harina de zapallo macre sobre el volumen específico, firmeza sensorial y aceptabilidad general en el pan de molde durante su almacenamiento. Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. La libertad Perú.

Sanz, M., Penella J., Wronkowska M., Soral M. y Haros M., 2013. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. Recuperado de: www.elsevier.com/locate/lwt.

Salcines, M. 2009. Cadena agroalimentaria de la quinua y de la maca peruana y su comercialización en el mercado español. Tesis elaborada para la obtención del grado de Doctor. Madrid – España.

Sifuentes, G., Vásquez, S. y Paucar, L. 2007. Estudio de la Maca, cultivo andino con propiedades terapéuticas. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú. Recuperado de: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Stanley, P., Cauvain S. y Young, L. 2007. Technology of bread making. Second edition. Springer Science Business Media. New York. E.E.U.U.

Vásquez, F., Camacho M., Granados M., Silva e Islas, A. 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de

líneas experimentales de trigo. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Sonora, México. Recuperado de: [www. Biotecnia.uson.mx/3-art.4](http://www.Biotecnia.uson.mx/3-art.4)

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Medición de proteína del pan integral con harina de maca

Sustitución de harina de trigo por harina de maca (%)	Proteína (%)	Repetición
0	7.7	1
	7.6	2
	7.6	3
	7.7	4
Promedio	7.65	
5	19.6	1
	19.7	2
	19.6	3
	19.6	4
Promedio	19.63	
10	20.2	1
	19.9	2
	20.3	3
	20.2	4
Promedio	20.15	
15	22.6	1
	22.6	2
	22.61	3
	22.6	4
Promedio	22.6	

Anexo 2. Evaluación sensorial de aceptabilidad general del pan integral con harina de maca

Nro.	Sustitución de harina de trigo por harina de maca (%)			
	0	5	10	15
1	5	6	6	3
2	5	6	6	2
3	4	6	6	1
4	6	5	6	3
5	5	6	5	3
6	5	6	6	2
7	6	6	6	3
8	5	5	5	3
9	5	5	5	3
10	5	4	6	3
11	3	5	6	3
12	4	5	6	2
13	5	6	5	3
14	4	6	6	4
15	5	5	5	3
16	5	5	5	3
17	6	4	6	3
18	6	5	6	4
19	5	5	6	3
20	4	5	5	4
21	4	6	5	3
22	3	5	5	2
23	5	4	6	2
24	4	3	5	3
25	5	3	6	3
26	6	4	6	3
27	6	5	5	3
28	5	6	6	2
29	4	6	6	2
30	5	4	6	2
Moda	5	5	6	3
Promedio	4.83	5.07	5.63	2.77

Anexo 3. Ficha de evaluación de aceptabilidad general para pan integral con harina de maca

Nombre.....Fecha.....				
Producto: Pan integral con harina de maca				
Pruebe las muestras de pan que se le presentan e indique, según la escala, su opinión sobre ellas.				
Marque con una (X) en el reglón que corresponda a la percepción de aceptabilidad de la muestra.				
ESCALA	192	132	154	456
7. Me gusta muchísimo	----	----	----	----
6. Me gusta Mucho	----	----	----	----
5. Me gusta bastante	----	----	----	----
4. No me gusta ni me disgusta	----	----	----	----
3. Me disgusta bastante	----	----	----	----
2. Me disgusta mucho	----	----	----	----
1. Me disgusta muchísimo	----	----	----	----
Comentarios _____				

Anexo 4. Harina de maca



Anexo 5. Elaboración del pan integral

- Mezcla de ingredientes



- Amasado de la masa con sustituciones de harina de maca



- Boleado de la masa con sustitución de harina de maca



- Colocación de pan el horno posterior al fermentado



- Pan integral con sustitución de harina de maca

