



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

“Sustitución Parcial de la Harina de Trigo por Harina de Maíz y su Efecto en las Propiedades Fisicoquímicas del Pan Tipo Molde.”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentado por:

Carlos Antonio Mera Suárez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios,
por empujarme siempre
a hacer lo correcto
y dejarme sin excusas para no hacerlo.

A mi tutora del proyecto de graduación,
la Ing. Fabiola Cornejo Zúñiga
por su guía durante el proyecto.

A los familiares y amigos
que me acompañaron
durante el tiempo
de la carrera.

Carlos Mera

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



M.Sc. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DEL TFG



Ing. Fernando Peñafiel U.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente proyecto de graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Carlos Antonio Mera Suárez

RESUMEN

En el Ecuador, así como en la mayor parte del mundo, los cereales constituyen el principal aporte calórico en la dieta diaria, siendo el trigo, uno de los más importantes en América del Sur; que se emplea mayormente en la fabricación de productos de panificación, entre otros. Lamentablemente, más del 90% del trigo consumido en el país es importado, lo cual representa un gasto de hasta USD 15,4 millones anuales en las importaciones de trigo.

El maíz se compara favorablemente en valor nutritivo con respecto a cereales como el arroz y el trigo, es más rico en grasa, hierro y contenido de fibra, contiene un 70 % de almidón, 10% de sustancias nitrogenadas y 8% materias grasas. La superficie dedicada a su cultivo en Ecuador es de aproximadamente 350 mil ha. con un rendimiento de 60 Quintales/ha. cultivándose principalmente en la región costa, 16.9% en Manabí, 42.15% en Los Ríos y 14.62% en Guayas. Actualmente, su consumo es casi exclusivo (70%) en la fabricación de balanceados para la alimentación de animales. Su uso en la panificación no es muy común, ya que no contiene las proteínas que ligándose entre sí forman el gluten y por tanto la masa de maíz sola no tiene cohesión y no es elástica. Sin embargo, es posible elaborar panes con harina de trigo si se sabe combinar en las proporciones correctas.

Aunque la sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz en la elaboración de pan es una realidad en el país, no se han realizado y documentado estudios donde se pueda observar de manera medible el efecto de los diversos porcentajes de esta sustitución en el pan tipo molde.

Para realizar un estudio medible de los efectos de la sustitución de harina de trigo por harina de maíz se formuló un pan tipo molde con harina 100% de trigo el cual sirvió de muestra patrón y a continuación siguiendo el mismo procedimiento y formulación se elaboró tres panes diferentes resultado de la sustitución de la harina de trigo en un 10%, 20% y 30% por harina de maíz. Las características fisicoquímicas que se controlaron en los panes son textura, volumen específico, dimensiones, humedad y actividad de agua. Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI, el cual permitió realizar un análisis de varianza ANOVA y una comparación de rangos múltiples para determinar diferencia estadística entre las muestras con un 95% de confianza.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vi
SIMBOLOGÍA.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	2
1.1 Cultivos y Disponibilidad del maíz.....	2
1.2 Harina de maíz.....	3
1.3 Utilización de harina de maíz en la elaboración de pan.....	6
 CAPÍTULO 2	
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1 Elaboración de pan tipo molde.....	8
2.2 Propiedades fisicoquímicas del pan.....	11
2.2.1 Textura.....	13
2.2.2 Volumen específico.....	13

2.2.3 Alto-Ancho.....	14
2.2.4 Actividad de agua.....	14
2.2.5 Humedad.....	14
2.3 Análisis Estadístico.....	14

CAPÍTULO 3

3. Resultados.....	18
3.1 Efecto del porcentaje de sustitución y tipo de harina en la media de las características fisicoquímicas del pan.....	18
3.2 Ecuación de regresión para el efecto del porcentaje de sustitución y tipo de harina en las características fisicoquímicas del pan.....	21

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones.....	27
--	----

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
FAO	Food and Agriculture Organisation
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Espac	Encuesta de Superficies de Producción Agropecuaria continúa
Aw	Actividad de agua
ANOVA	Análisis de varianza
USD	Dólares estadounidenses
PIB	Producto interno bruto
Ec.	Ecuación

SIMBOLOGÍA

T	Temperatura
°C	Grados Centígrados
CO ₂	Dióxido de Carbono
cm	Centímetros
cm ³	Centímetros cúbicos
gr.	Gramos
ha	Hectáreas
HR	Humedad Relativa
Kg	Kilogramos
mg	Miligramos
Mm	Milímetros
s	Segundo
%	Por ciento
TM	Toneladas métricas.
Psi	Libra fuerza por pulgada cuadrada
t	Tiempo
%	Porcentaje
F	Fuerza
N	Newton

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Vista transversal de las rebanadas de pan tipo molde con su altura y ancho.....	24
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1	Formulación pan tipo molde..... 11
Tabla 2	Propiedades fisicoquímicas del pan tipo molde para las diferentes muestras..... 20
Tabla 3	Regresión lineal de las características fisicoquímicas del pan tipo molde..... 22

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el pan, es uno de los alimentos más consumidos en los hogares ecuatorianos. Tradicionalmente es elaborado con harina de trigo. Sin embargo, el alto costo de esta materia prima, ha incrementado considerablemente el precio del producto final, esto debido que el 98% del trigo consumido en el país es importado.

La producción total de trigo en el Ecuador es de 10 mil a 15 mil toneladas por año, el rendimiento promedio de su cultivo es bajo y oscila entre las 2.5 y las 3 toneladas por hectárea. La demanda interna de trigo en el país se acerca a las 500 mil toneladas anuales, alcanzándose a cubrir solo del 2% al 3% con trigo nacional. Y la demanda por lo tanto se completa con importaciones de varios millones desde países como Estados Unidos y Canadá.

La solución de esta problemática se encuentra en la diversificación del uso de materias primas de mayor disponibilidad en el país como sustitutos del trigo importado. Razón por lo cual el presente proyecto evalúa la eficiencia de la harina de maíz, como sustituto del trigo en la elaboración de pan tipo molde, estudio que se llevó a cabo mediante un análisis de las características

fisicoquímicas de panes elaborados con harina de maíz cruda y harina de maíz precocida. Variando también los porcentajes de sustitución entre 10%, 20% y 30%. Los resultados se compararon con los obtenidos del análisis de pan 100% trigo, lo cual permitió determinar el efecto producido en las características fisicoquímicas del pan tipo molde a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de maíz.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Cultivos y Disponibilidad del maíz

El maíz es uno de los cereales más consumidos en el mundo y crece en todos los continentes. Anualmente se produce alrededor de 645'414.836,10 TM de maíz en el mundo, los principales exportadores de dicho producto son Estados Unidos, Argentina y Francia. En Ecuador, se produce en promedio 717.940 TM de maíz duro seco y 43.284 TM de maíz suave, cada año. Los cultivos de maíz duro seco se encuentran casi en su totalidad en la región costa, mientras que los cultivos de maíz suave se localizan principalmente en la sierra.

El PIB del maíz duro seco en el Ecuador es de 141,73 millones de USD en promedio y presenta una tendencia creciente a una tasa de 20,94%. Su representación promedio dentro del PIB agrícola es de un 5,28%.

La superficie cosechada tiene una tasa de crecimiento negativa promedio igual a -0,28%, mientras que el comportamiento de la producción es creciente, a una tasa de 14,75%. Teniendo un rendimiento promedio de 2,38 TM/Ha con una tasa de crecimiento de 15,07%.

Las provincias de Guayas y Los Ríos, son las principales productoras de esta gramínea, abarcando un 73,41% de la producción nacional, según datos de la ESPAC 2009. La tercera provincia en importancia para este cultivo es Loja con el 10,53% del total nacional.

1.2. Generalidades de la harina de maíz

La harina de maíz se extrae al moler la parte interna o núcleo del grano, el cual representa el 75% del peso total y está formado fundamentalmente por almidón, y por un complejo proteico denominado zeína.

El porcentaje de los nutrientes presentes en la harina obtenida de la molienda dependerá de su grado de extracción (cantidad de harina obtenida de 100 kilos de cereal). De manera que, si aumenta el grado de extracción, aumenta el contenido de componentes propios de la envoltura del cereal, tales como minerales, vitaminas y fibra. Se puede elaborar harina de maíz blanca despojando el grano de

sus envolturas extremas y del germen, aunque casi no contendría vitamina B1 y minerales.

La mayor parte de la harina elaborada con maíz es utilizada para la confección de jarabes con los que se edulcora diversos alimentos. También se la encuentra en la composición de panes integrales y en diversos productos de repostería.

Dado que la harina de maíz no contiene las proteínas que conforman el gluten, no tiene las características necesarias para hacer crecer la masa. Por lo tanto, es catalogada como harina no panificable y para este uso es necesario mezclarla con otras harinas.

El proceso para su obtención se da por dos medios: la molienda húmeda y la molienda seca. El objetivo principal en ambos casos es la separación del germen del resto del grano, bien sea para extraer su aceite; o bien, para evitar el enranciamiento posterior de la harina.

Los métodos del desgerminado se basan en efectos de impacto, centrifugación y mesas densimétricas. Para la elaboración de harinas precocidas los grits provenientes de la etapa anterior, se llevan a una columna de inyección de vapor a 75-60 Psi. con el fin de gelatinizar las proteínas, lo cual aumentará la capacidad de la

harina para absorber agua y también la velocidad a la cual las enzimas podrán descomponer los almidones en carbohidratos más simples y solubles.

El grits precocido sale de la columna de vapor con una humedad alrededor del 22% y es llevado a laminadores de rodillos, obteniendo hojuelas que son posteriormente secadas y molidas. El paso final en la elaboración de harina cruda y precocida es la purificación, la cual se da por medio de múltiples etapas de cernido

1.3. Utilización de harina de maíz en la elaboración de pan

La harina de maíz se distingue considerablemente de la harina de trigo en su composición. En los panes elaborados tradicionalmente con trigo, el gluten, compuesto de gliadina y glutenina, crea una red que atrapa dióxido de carbono generado por la fermentación de los azúcares en la masa. La utilización de harina de maíz, un cereal sin gluten, provoca cambios textura de la masa, tales como, baja cohesión, baja resistencia al esfuerzo de tracción y poca elasticidad. Por lo que no puede utilizarse como ingrediente exclusivo en la fabricación de panes, debe combinarse con harinas panificables, como la de trigo. Además, puesto que el porcentaje de azúcares en la harina de maíz es superior al de la harina de trigo, la caramelización en la costra de los panes elaborados con esta harina, se observaría mucho más acentuada.

Entre las ventajas que brinda la harina de maíz por sobre otras harinas esta su gran contenido de calcio biodisponible, lo cuales pueden actuar sinérgicamente con aditivos, como las carrageninas, que requieren su presencia para activarse.

Las masas elaboradas con harina de maíz tienen también un alto contenido de fibra, lo cual disminuye la capacidad de absorción de grasa, pudiendo llegar a encapsularla. Dada estas características, con porcentajes de sustitución elevados el pan obtenido seria notablemente diferente al tradicional, tanto en la textura de la parte interna (miga) y externa (costra), asi como en el color y sabor de las mismas.

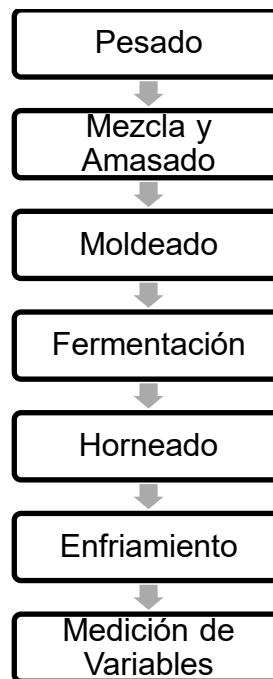
CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS:

2.1. Elaboración de pan tipo molde

Para poder analizar las diferentes variables físicas en los panes es necesario establecer un procedimiento para la elaboración de los panes etapa por etapa, a fin de poder seguirlo de manera estricta en la realización de cada pan, lo cual minimiza los errores que puedan afectar las mediciones posteriores.

El procedimiento establecido es el siguiente:



1. Es recomendable tener pesado todos los ingredientes antes de comenzar la elaboración y hacerlo cuidadosamente, ya que cualquier variación afectará a los resultados finales del experimento.
2. Los ingredientes se deben colocar en el vaso del kitchenAid siguiendo el mismo orden siempre. No agregar al principio ni la levadura, ni el agua, ni la manteca. Poner la maquina en 1era velocidad dejar que se mezclen los ingredientes y entonces agregar la manteca y un tercio del total del agua. Dejar amasar 4 minutos y agregar otro tercio del agua. Amasar 3 minutos más

- y agregar el resto del agua y la levadura. Poner en 2da velocidad y dejar amasar por 2 minutos
3. Hacer bollos de un tamaño que ocupe todo el largo de los moldes y ponerlos dentro de los mismos. Cada bollo debe pesar 150 gr.
 4. Dejar fermentar por 25 minutos en una cámara con temperatura 28 ± 1 °C. y 100 % humedad relativa.
 5. Los panes deben hornearse por 40 minutos en un horno precalentado a 170 °C
 6. El proceso de enfriamiento toma 24 horas y se debe desmoldar los panes para empezar. Este desmolde debe ser en caliente, con un tiempo máximo de 10 minutos de haber salido del horno, para evitar el colapso y conservar así de mejor manera sus propiedades. El pan debe ser colocado en perchas con rejillas, para evitar que exude y las propiedades en su superficie se vean afectadas.
 7. La medición de las variables debe llevarse a cabo rápidamente una vez pasadas las 24 horas de enfriamiento.

La formulación para elaborar los panes fue la siguiente:

TABLA 1
FORMULACIÓN PAN TIPO MOLDE

INGREDIENTES	gr.
HARINA DE TRIGO	250
HARINA DE MAÍZ	0
AGUA	155
MANTECA VEGETAL	12.5
LECHE EN POLVO	10
AZÚCAR	20
SAL	5
LEVADURA	7.5
GOMA XANTANA	2

Elaborada por Carlos Mera, 2015

El agua debe mantenerse a una temperatura de 5 a 7 °C o de lo contrario se podría producir una fermentación demasiado acelerada en el proceso.

Con esta formulación se obtienen 3 panes de 150 gr. 100% trigo. Para elaborar los panes con sustituciones de harina de maíz solo se debe modificar las cantidades de harina, los demás ingredientes se mantienen en iguales proporciones.

2.2. Propiedades fisicoquímicas del pan

La masa de pan es un sistema complejo en donde las diferencias de intensidad de interacción entre proteínas hidratadas, una matriz

de almidón e interacciones almidón-proteína, determinan las características del producto final.

La red de almidón se forma por la acción de fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno, mientras que las proteínas que forman el gluten interactúan entre si por medio de enlaces disulfuro, entrecruzamientos, interacciones hidrofóbicas y puentes de hidrógeno.

Las características finales del pan dependerán de la adecuada formación de las diferentes redes en la masa, no sólo porque esto permitirá poder atrapar de forma eficaz el gas de la fermentación, sino también porque contribuirá directamente a la formación de la estructura de la miga que tras el horneado le confiere al pan la textura y palatabilidad que lo diferencian de otros productos horneados.

Para este estudio se realizaron panes tipo molde, los cuales son por definición panes que se han introducido en un molde para su etapa de cocción. Las características físico químicas a medir son volumen, color, textura, relación alto-ancho, humedad y actividad de agua. Mismas que fueron medidas a las 24 horas de haber elaborado el pan, realizando los experimentos por triplicado.

2.2.1. Textura

La textura de la miga del pan está relacionada con la calidad de la proteína. Para este análisis se procedió a cortar rebanadas de 1 cm. de ancho de cada pan, mismas que fueron colocadas en un texturómetro Brookfield modelo CT3.

Este equipo permitió por medio del software CT Texture Pro, establecer las mismas condiciones de análisis para cada rebanada de pan. El estudio realizado a cada rebanada consistió en una compresión de dos ciclos, con un tiempo de espera entre ambas compresiones de 30 segundos. La compresión de la muestra se realizó hasta el 50% del espesor inicial. Y los parámetros observados fueron: dureza, índice de elasticidad, masticabilidad y cohesividad.

2.2.2. Volumen específico

Una de las principales características de los panes es que posea un buen volumen, por lo general el volumen debe ser del doble del inicial antes del horneado. Para determinar el volumen se utilizó el método de desplazamiento de semillas de mostaza; esta prueba se realizó teniendo la hogaza de pan completa antes de rebanar. La fórmula utilizada para realizar el cálculo fue la siguiente:

$$\text{Volumen específico (cm}^3/\text{gr)} = \frac{\text{Volumen del pan}}{\text{peso del pan}}$$

2.2.3. Alto- Ancho

Para determinar la relación alto/ancho se cortó rebanadas de 1 cm de espesor del centro del pan y se tomó las medidas usando una regla a lo largo y ancho.

2.2.4. Humedad

Para determinar la humedad se empleó una termobalanza y se analizaron muestras de 2 gr. cuidando también de no transferir humedad a la muestra.

2.2.5. Actividad de Agua

Para determinar la Aw se tomó 2 gr. de muestra desmenuzada y fueron puestas en el AQUALAB, en el centro del portaobjeto con cuidado de no transferir humedad a la muestra

2.3. Análisis estadístico

Para analizar los datos correspondientes a las diferentes variables físicas se utilizó la ayuda del software estadístico statgraphic centurion con el cual se analizó la diferencia significativa entre las

características de los diferentes panes con diferentes sustituciones de harina y el pan elaborado con 100% harina de trigo.

El software también permitió realizar un análisis de regresión para obtener una ecuación que explique el comportamiento de las variables al modificarse los grados de sustitución.

Prueba de diferencias significativas

Para el tipo de datos a analizar en este proyecto se utilizó una prueba t para 2 muestras independientes, la cual permitirá realizar una prueba de hipótesis y calcular la diferencia entre dos medias de población cuando las desviaciones estándar de las poblaciones, sean desconocidas.

Los resultados se los evaluó por medio del valor p, el cual indica si es adecuado o no rechazar la hipótesis nula. Ya que representa la probabilidad de obtener una diferencia que sea, como mínimo, tan grande como la diferencia entre el valor observado y el valor hipotético a través del error aleatorio solamente.

La hipótesis nula es rechazada entonces si el valor p de una estadística de prueba es menor que su nivel de significancia, siendo el valor comúnmente utilizado 0.05.

En el caso de este proyecto, la hipótesis nula establecida será que las medias de las dos poblaciones son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establecerá que no son iguales. Un valor p por debajo de su nivel de significancia indicará que las medidas de las poblaciones son diferentes.

Regresión

Se utilizó para generar una ecuación que describa la relación estadística entre uno o más predictores y la variable de respuesta. Lo cual permitió predecir nuevas observaciones.

La regresión generalmente utiliza el método de mínimos cuadrados ordinarios, con el cual se obtiene una ecuación al minimizar la suma de los residuos cuadrados. Con esta ecuación se puede conocer la dirección, el tamaño y la significancia estadística de la relación entre un predictor y una respuesta. El signo de cada coeficiente indica la dirección de la relación y los coeficientes representan el cambio de la media en la respuesta para una unidad de cambio en el predictor mientras mantiene constantes otros predictores en el modelo.

La eficacia de la ecuación es evaluada mediante dos indicadores principales que son R-cuadrado y Valor p . Donde R-cuadrado

representa el porcentaje de variación de la variable de respuesta que se explica por su relación con las variables predictoras. En general, mientras más alto sea R-cuadrado mejor se ajustará el modelo a sus datos.

Por otro lado valor p en este contexto, prueba la hipótesis nula de que el coeficiente es igual a cero (no tiene efecto), con una hipótesis alternativa que establece que el coeficiente no es igual a cero. Un valor p por debajo de su nivel de significancia, indica que el predictor es un agregado importante a la ecuación.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Efecto del Porcentaje de Sustitución y Tipo de Harina en la Media de las Características Fisicoquímicas del Pan.

En la siguiente tabla se observan los resultados del análisis de diferencias significativas, realizado a la media de las propiedades fisicoquímicas de los panes elaborados con los distintos grados de sustitución y tipos de harina. En esta tabla se observa que con excepción de en la relación alto/ancho, tanto el tipo de harina de maíz como la diferencia en el porcentaje de sustitución, influyen de manera significativa en las propiedades físicoquímicas del pan, provocando variaciones considerables. Con respecto a la masticabilidad se encontró que no hay diferencia significativa entre el pan elaborado 100 % harina de trigo y el pan elaborado con un 10 % de harina de maíz cruda.

También, se encontró que entre los panes elaborados con 10% de harina de maíz cruda y 10 % de harina de maíz precocida no hay diferencia significativa en el índice de elasticidad, ni en la cohesividad. Además, se observó que la humedad y la actividad de agua del pan elaborado con 20 % de harina de maíz precocida, es semejante a la del pan elaborado con 10 % de harina de maíz cruda

TABLA 2

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL PAN TIPO MOLDE PARA LAS DIFERENTES MUESTRAS

	Control	Harina de Maíz Cruda 10%	Harina de Maíz Cruda 20%	Harina de Maíz Cruda 30%	Harina de Maíz Precocida 10%	Harina de Maíz Precocida 20%	Harina de Maíz Precocida 30%
Volumen	1.96 +/- 0.04 a	1.83 +/- 0.03 b	1.8 +/- 0.02 b	1.53 +/- 0.04 c	1.46 +/- 0.25 d	1.34 +/- 0.03 e	1.30 +/- 0.03 f
Alto/Ancho	0.97 +/- 0.02 a	0.85 +/- 0.04 b	0.83 +/- 0.02 b	0.86 +/- 0.04 b	0.88 +/- 0.02 b	0.87 +/- 0.03 b	0.84 +/- 0.02 b
Dureza	3.41 +/- 0.49 a	7.37 +/- 0.22 b	10.55 +/- 0.6 c	17.57 +/- 0.7 d	20.15 +/- 0.63 e	28.07 +/- 0.73 f	29.6 +/- 0.62 g
Masticabilidad	15.04 +/- 1.74 a	17.59 +/- 1.11 a	25 +/- 1.27 b	38.94 +/- 1.1 c	64.55 +/- 2.24 d	75.45 +/- 1.45 e	83.89 +/- 4.28 f
Índice Elasticidad	0.92 +/- 0.01 a	0.88 +/- 0.02 b	0.82 +/- 0.02 c	0.77 +/- 0.01 d	0.88 +/- 0.01 b	0.85 +/- 0.01 e	0.84 +/- 0.018 e
Cohesividad	0.61 +/- 0.02 a	0.55 +/- 0.02 b	0.51 +/- 0.02 c	0.47 +/- 0.02 d	0.55 +/- 0.01 b	0.53 +/- 0.01 e	0.51 +/- 0.008 c
Humedad	38.72 +/- 0.26 a	39.31 +/- 0.04 b	39.46 +/- 0.02 c	39.58 +/- 0.02 d	39.23 +/- 0.02 e	39.34 +/- 0.01 b	39.43 +/- 0.02 f
A.W.	0.94 +/- 0.003 a	0.96 +/- 0.001 b	0.96 +/- 0.002 c	0.96 +/- 0.001 d	0.95 +/- 0.001 e	0.95 +/- 0.001 b	0.96 +/- 0.002 c

Valores con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes.

(p valor < 0,05), (n=3)

Elaborada por Carlos Mera, 2015

3.2. Ecuación de regresión para el efecto del porcentaje de sustitución y tipo de harina en las características fisicoquímicas del pan

En la siguiente tabla se resumen los resultados del análisis de regresión realizado con los valores de las propiedades fisicoquímicas de los diferentes panes elaborados con harina de maíz. En esta se puede observar que la variación en los porcentajes de sustitución tanto de la harina de maíz cruda, como de la harina de maíz precocida, no influyen de manera significativa en la relación alto/ancho del pan, ya que el valor p resultante del análisis es mayor a 0.1, lo cual indica que la relación alto/ancho se mantiene constante.

Además, el valor p menor a 0.05 en las demás propiedades analizadas, indica que la variación en los grados de sustitución de harina de trigo, tanto por harina de maíz cruda como por harina de maíz precocida, influye de manera significativa en las características finales del pan tipo molde. El valor R cuadrado, muestra que las ecuaciones desarrolladas, logran explicar en todos los casos, más del 70 % de la variación en las propiedades fisicoquímicas.

TABLA 3

REGRESIÓN LINEAL DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL PAN TIPO MOLDE

	Tipo de Harina	ecuación de regresión	R ²	p
volumen	Harina Cruda	Volumen: $2.01 - 0.0147 * \% \text{ Sustitución}$	77.1	< 0.05
	Harina Precocida	Volumen: $1.53 - 0.0081 * \% \text{ Sustitución}$	81.4	< 0.05
alto/ancho	Harina Cruda	Alto/Ancho: $0.838 + 0.00038 * \% \text{ Sustitución}$	0	> 0.1
	Harina Precocida	Alto/Ancho: $0.898 - 0.00179 * \% \text{ Sustitución}$	23.1	> 0.1
dureza	Harina Cruda	Dureza: $1.63 + 0.510 * \% \text{ Sustitución}$	93.8	< 0.05
	Harina Precocida	Dureza: $16.5 + 0.472 * \% \text{ Sustitución}$	84	< 0.05
masticabilidad	Harina Cruda	Masticabilidad: $5.83 + 1.07 * \% \text{ Sustitución}$	95.3	< 0.05
	Harina Precocida	Masticabilidad: $55.3 + 0.967 * \% \text{ Sustitución}$	88.7	< 0.05
índice de elasticidad	Harina Cruda	Índice de Elasticidad: $0.929 - 0.00533 * \% \text{ Sustitución}$	87.8	< 0.05
	Harina Precocida	Índice de Elasticidad: $0.904 - 0.00233 * \% \text{ Sustitución}$	71.0	< 0.05
cohesividad	Harina Cruda	Cohesividad: $0.589 - 0.00392 * \% \text{ Sustitución}$	81.2	< 0.05
	Harina Precocida	Cohesividad: $0.574 - 0.00208 * \% \text{ Sustitución}$	78.1	< 0.05
humedad	Harina Cruda	Humedad: $39.2 + 0.0133 * \% \text{ Sustitución}$	94.1	< 0.05
	Harina Precocida	Humedad: $39.1 + 0.0100 * \% \text{ Sustitución}$	96.1	< 0.05
Aw	Harina Cruda	Aw: $0.950 + 0.000492 * \% \text{ Sustitución}$	90.00	< 0.05
	Harina Precocida	Aw: $0.945 + 0.000492 * \% \text{ Sustitución}$	87.20	< 0.05

Elaborada por Carlos Mera, 2015

Estos resultados indican que a medida que disminuye el gluten en la masa, esta tiene menor capacidad para retener el gas producido durante la fermentación y esto provoca un menor volumen específico en el producto final, también, el alto porcentaje de grasa presente en la harina de maíz, afecta la humedad y actividad de agua del producto final provocando que estas aumenten a medida que se eleva el porcentaje de sustitución. Así mismo, se observa que la diferencia en el porcentaje de fibra, calcio y otros minerales, correspondiente a la sustitución de la harina de trigo por harina de maíz, provoca un aumento en la dureza y la masticabilidad del pan, lo cual también provoca que la cohesividad y el índice de elasticidad disminuyan.

La harina de maíz precocida es desgerminada durante su proceso de elaboración, esto reduce su contenido graso y permite obtener humedades y actividad de agua inferiores a las obtenidas con la harina de maíz cruda. Así también, la harina de maíz precocida, por sus etapas de purificación, permite obtener panes con mayor grado de cohesividad e índice de elasticidad, asemejándose más al pan 100% trigo que el pan con harina de maíz cruda.

Análisis de las rebanadas de pan tipo molde, elaborado con diferentes porcentajes de sustitución y tipos de harina



Figura 1.1 Vista transversal de las rebanadas de pan tipo molde con su altura y ancho

Elaborada por Carlos Mera, 2015

En la figura 1.1 se puede apreciar una gran disminución del alto y ancho, respecto al pan 100% harina de trigo, en todos los panes elaborados con harina de maíz. Además la forma de la rebanada de estos panes es bastante diferente a la del pan blanco 100% trigo, siendo las rebanada de los panes elaborados con 10% de harina de maíz precocida las más parecidas al patrón. Tanto en los panes elaborados con harina de maíz cruda como precocida, cuando se llega a 30% de sustitución, se produce un desgarró en la parte inferior de la hogaza de pan, durante la expansión del gas en la etapa de horneado, con lo cual se hace evidente la disminución en la cohesividad de estos panes.

Aunque el volumen del pan 30% harina de maíz crudo es inferior al del pan 20% de la misma harina, las rebanadas de pan con la menor área son las del pan elaborado con 20% de harina de maíz crudo, y las de mayor área son las pertenecientes al pan 10% harina de maíz precocida. Con respecto a la presencia de alveolos en las rebanadas no se aprecian grandes diferencias entre los distintos tipos de harina, ni grados de sustitución. También, los panes elaborados con harina de maíz son más oscuros que los panes elaborados con harina de trigo, puesto que la harina de maíz tiene mayor contenido de azúcares que reaccionan durante el horneado, siendo los panes más oscuros los elaborados con

harina de maíz precocida, debido a que esta pierde varios componentes durante la purificación, aumentando así la concentración de azúcar.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La variación del porcentaje sustitución de la harina de trigo permite explicar de manera eficaz las variaciones en casi todas las variables físicas del pan. Con excepción de la relación alto/ancho cuyo análisis de varianza tuvo el valor p mayor a 0.1 indicando que las variaciones observadas en esta variable no se explican de manera significativa con el aumento o disminución del porcentaje de sustitución de la harina de trigo, tanto por harina cruda como precocida.

El proyecto concluye que conforme va aumentando el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de maíz, tanto cruda como precocida, disminuye el volumen del pan tipo molde y aumenta su humedad y actividad de agua. Y en cuanto a la textura, se tiene que la dureza y la masticabilidad aumentan, mientras que la cohesividad y el índice de elasticidad disminuyen. El uso de harina de maíz cruda permite

un mayor incremento de volumen del pan durante el leudado y el horneo, con respecto a la harina de maíz precocida, siendo esta una ventaja técnica muy apreciada. Así mismo su uso por sobre la harina de maíz precocida proporciona al pan grados de dureza y masticabilidad, similares a las características del pan elaborado 100% con harina de trigo. Por otro lado, usar harina de maíz precocida, en lugar de harina de maíz cruda, asegura una reducción en la humedad y actividad de agua final del pan, lo cual le brinda una ventaja en tiempo de vida útil, por sobre el pan elaborado con harina de maíz cruda. También, los panes elaborados con harina de maíz precocida, tienen mayor grado de cohesividad y un índice de elasticidad más elevado, presentando menores diferencias, en estas características, con respecto al pan elaborado 100% con harina de trigo.

Para estudios posteriores se recomienda realizar experimentos sustituyendo la harina de trigo por mezclas de harina de maíz cruda y precocida en diferentes porcentajes, lo cual permitirá analizar los cambios en las características fisicoquímicas del pan tipo molde, producidas a partir de la interacción de las distintas ventajas y desventajas que brindan las propiedades de cada tipo de harina. Además, se recomienda realizar un estudio de las características

sensoriales de los distintos panes, esto permitiría determinar cuál formulación es la que brinda mejores propiedades al producto final.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Determinación del volumen específico



Desplazamiento de semillas y medición en probeta

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Sánchez, María Teresa, Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas, Primera Edición, AMV Ediciones, Madrid, España, 2003, Pág. 100-110.
- (2) Calaveras, Jesús, Tratado de panificación y bollería, Primera Edición, AMV Ediciones, Madrid, España, 1996, pp. 260-270.
- (3) Cauvain, S., y Young, L., Fabricación de Pan, Primera edición, editorial Acribia, Zaragoza, España, 2002, pp. 1-79, 300-344.
- (4) Hernandez, Gil y Majem, Serra, Libro blanco del pan. Edición Editorial Panamericana. Madrid, España. 2010. pp. 30-32.
- (5) Picas, Carmen y Vigata, Anna, Técnicas de pastelería, panadería y conservación de alimentos, Primera Edición, Editorial Síntesis S.A., Madrid, España, pp. 60-88.
- (6) ORDÓÑEZ G., OVIEDO R. “Alternativas de Aprovechamiento de Harinas no Tradicionales para la Elaboración de Pan Artesanal”, TESIS DE GRADO DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Guayaquil, Ecuador. 2010
- (7) STANLEY P., 2002: “Fabricación de Pan”, Editorial Acribia: Primera Edición: Zaragoza – España: Pág.: 300 – 320.

- (8) CALABERAS J., 1996: “Tratado de Panificación y Bollería”, Primera Edición, Mundi – España: Pág.: 80 – 90
- (9) ESAG. Encuesta de superficie de producción agropecuaria continua ESPAC-2013. Marco de Áreas. Disponible en:
http://www.inec.gob.ec/ESPAC2012/formulario_marco_areas_2012.pdf?TB_iframe=true&height=600&width=1000
- (10) INEC. Sistema Agroalimentario del Maíz. *Ecuador en cifras*. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.com/sistagroalim/pdf/Maiz.pdf>
- (11) INEC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). *Ecuador en cifras*. 2013. Disponible en:
http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/PRESENTACION ESPAC2013.pdf