



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA

**TÍTULO DEL TRABAJO:
ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE PAN PIZZA CON
BASE EN OKARA**

**INFORME TÉCNICO DE LA OPCIÓN CURRICULAR EN LA MODALIDAD DE:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:
GAMBINO MEJÍA LAURA ISABEL**

**ASESORES: M. en C. HERMILO SÁNCHEZ PINEDA
M. en C. YOJA TERESA GALLARDO NAVARRO**

México, D. F. Mayo de 2008

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA

1. Introducción	1
2. Marco teórico	2
2.1 Propiedades funcionales de los ingredientes para la elaboración del pan pizza	3
2.2 Definición y composición de la okara	12
2.3 Pan precocido	16
3. Justificación	17
4. Objetivos	
5. Desarrollo experimental	18
5.1 Elaboración de masa para pan pizza casero	
5.2 Elaboración de masa para pizza con okara	19
5.3 Caracterización de la fermentación de la masa	20
5.4 Materiales y equipo	
5.5 Métodos de análisis	21
6. Resultados y análisis de resultados	23
6.1 Resultados para el pan pizza elaborado con levadura deshidratada	
6.2 Resultados para el pan pizza elaborado con levadura en pasta	26
6.3 Resultados para la caracterización de la fermentación	27
7. Conclusiones	30
8. Recomendaciones para trabajos futuros	
9. Referencias	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Formulación típica para la elaboración de masa para elaboración de pizzas	3
Cuadro 2. Características de las levaduras comerciales	11
Cuadro 3. Composición y contenido de nutrientes de la okara	12
Cuadro 4. Composición química de productos de soya (% en base seca)	13
Cuadro 5. Contenido de aminoácidos esenciales (g/16g N) de productos de soya	
Cuadro 6. Propiedades ligadoras y espumantes de proteínas de productos de soya	15
Cuadro 7. Propiedades emulsificantes de las proteínas de productos de soya	16
Cuadro 8. Formulación base para la elaboración de pan pizza	18
Cuadro 9. Nivel de incorporación de okara	20
Cuadro 10. Dimensiones del pan pizza elaborado con levadura deshidratada	23
Cuadro 11. Análisis fisicoquímico del pan pizza elaborado con levadura deshidratada	24
Cuadro 12. Análisis estadístico de varianza para la resistencia a corte	25
Cuadro 13. Dimensiones del pan pizza elaborado con levadura prensada	26
Cuadro 14. Análisis fisicoquímico del pan pizza elaborado con levadura prensada	27
Cuadro 15. Caracterización de la fermentación de masa para pizza	28
Cuadro 16. Caracterización de la fermentación de masa para pizza-10% okara	
Cuadro 17. Caracterización de la fermentación de masa para pizza-20% okara	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proteínas de la harina de trigo	5
Figura 2. Clasificación y distribución de los lípidos de la harina de trigo	6
Figura 3. Asociación lípido proteína durante el amasado	7
Figura 4. Fermentación en panificación	10
Figura 5. Curvas de solubilidad para diferentes productos de soya	15
Figura 6. Diagrama de bloques para la elaboración de pan pizza	19
Figura 7. Resistencia al corte del pan pizza elaborado con levadura deshidratada	23

ANEXO 1

CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE FISHER (DMS)

La fórmula para obtener la diferencia mínima significativa de Fisher es:

$$DMS = t * \sqrt{2CMe/n}$$

Donde:

t = valor de t Student de tablas al 5%, para dos colas, a los grados de libertad del error.

CMe = valor del cuadrado medio del error

n = total de juicios efectuados por muestra

Con dicha ecuación se obtuvo lo siguiente:

De la tabla G8 para dfe = 24 con nivel de significancia del 5% t =

2,064

t

2,064

DMS

7,6446986

Después se procede a ordenar las medias de las muestras en forma descendente

A	B	C	D	E	F
PHT	PHTO-10%	PHTO-20%	PHTO-25%	PHTO-30%	PHTO-40%
74	44,3	51,5	42,8	30	26
A	C	B	D	E	F
74	51,5	44,3	42,8	30	26

Posteriormente se comparan cada par con el valor de la diferencia mínima de Fisher para saber entre que muestras existe diferencia significativa.

	Media		5%	
A-F	48	>	7,6446986	HAY
A-E	44	>	7,6446986	HAY
A-D	31,2	>	7,6446986	HAY
A-B	29,7	>	7,6446986	HAY
A-C	22,5	>	7,6446986	HAY
C-F	25,5	>	7,6446986	HAY
C-E	21,5	>	7,6446986	HAY
C-D	8,7	>	7,6446986	HAY
C-B	7,2	<	7,6446986	NO HAY
B-F	18,3	>	7,6446986	HAY
B-E	14,3	>	7,6446986	HAY
B-D	1,5	<	7,6446986	NO HAY
D-F	16,8	>	7,6446986	HAY
D-E	12,8	>	7,6446986	HAY
E-F	4	<	7,6446986	NO HAY



SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGIA



México D. F. a 10 de Septiembre de 2007
Of. No. SA-UPIBI-1475/2007

GAMBINO MEJÍA LAURA ISABEL
ALUMNA DEL 7º SEMESTRE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS
Presente

Comunico a Usted que, como resultado de la evaluación del Comité de Proyecto Terminal, con fecha de 7 de septiembre de 2007, queda registrado su Proyecto Terminal en la modalidad de "PROYECTO DE INVESTIGACIÓN" denominado "ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE PAN PIZZA CON BASE EN OKARA" bajo la dirección externa de la M. en C. Yoja Teresa Gallardo Navarro e interna del M. en C. Hermilo Sánchez Pineda.

De cumplir con las condiciones que abajo se indican, será acreditada la Opción Curricular de Titulación. Así mismo, me permito recordarle que el trabajo experimental deberá concluir en el octavo semestre y entregar, en el mismo, el informe técnico final, de conformidad con los lineamientos que para tal fin establezca el mencionado Comité.

CONDICIONES

- 1.- Permanecer en la misma modalidad en el Proyecto Terminal I, II y III
- 2.- Obtener una calificación igual o superior a 8.0 en Proyecto Terminal I, Proyecto Terminal II y en Proyecto Terminal III
- 3.- Cumplir con el 90% de asistencia a las actividades asignadas
- 4.- Cumplir con los demás requisitos que se fijan en el programa de estudios de la asignatura

Sin otro particular por el momento, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"

I.B.Q. YÉSSICA MARÍA DOMÍNGUEZ GALICIA
SUBDIRECTORA ACADÉMICA



**INSTITUTO POLITECNICO
NACIONAL**
**UNIDAD PROFESIONAL
INTERDISCIPLINARIA DE
BIOTECNOLOGIA**
DIRECCION ACADÉMICA

Ccp. Expediente de Proyecto Terminal
Archivo
YMDG/AGLG

RESUMEN

Se establecieron los niveles de incorporación de okara del 10, 20, 25, 30 y 40%, un subproducto de la elaboración de bebidas de soya, en un producto que actualmente se consume en México como comida rápida, la pizza, y se estudiaron los efectos de la adición de okara en las características fisicoquímicas como son el pH, la humedad, la actividad de agua y la resistencia al corte, y de dimensiones (peso, diámetro, altura y volumen) del pan pizza. Primero se elaboró un pan pizza de forma casera y posteriormente se procedió a elaborar el pan pizza a las diferentes concentraciones de okara. Se utilizó okara en polvo, harina de trigo, agua, manteca vegetal, levadura instantánea, levadura en pasta y sal. La adición de okara afectó la capacidad de fermentación de la masa, por lo que a concentraciones por arriba del 25% de okara, ésta debe adicionarse después de terminada la fermentación. Con el incremento de la concentración de okara, el volumen del pan pizza disminuyó. Conforme se aumenta la concentración de okara es necesario agregar de 2 a 8% más de agua, debido a la gran capacidad de retención de agua que presenta, lo cual se ve reflejado en el aumento del porcentaje de humedad del pan pizza pre-horneado. A medida que aumenta la concentración de okara, va disminuyendo la resistencia al corte, siendo el pan pizza con 40% de okara el más blando. La formulación más óptima fue la del pan pizza con 30% de okara elaborado con levadura prensada.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Historia de la pizza

Popularmente se dice que la pizza nació en Italia. Esto es una verdad a medias. El origen de la pizza se remonta, nada menos, que a 3.000 años A.C. Ya en el antiguo Egipto se celebraba el cumpleaños del faraón con una masa aplastada y aromatizada con hierbas, que bien podría ser la tatarabuela de la pizza que conocemos hoy día. Las "hogazas amasada" también son frecuentemente citadas por los escritores griegos, que las mencionan en sus poemas con el nombre de "hoffa" y "placenta", alimentos preparados con agua y cebada y cocinados sobre piedras al fuego. La Edad Media registra ya la palabra pizza como alimento de ricos y pobres y con diferentes variaciones en sus métodos de cocción y en sus gustos: salados y dulces. Luego de la caída del Imperio Romano, los lombardos asentados en el sur de Italia con la leche de las búfalas que habían llevado, dieron origen a la fabricación de la mozzarella.

El descubrimiento del Nuevo Mundo hace que Europa conozca una hortaliza sin la que no hubiera existido la pizza tal como la conocemos: el tomate. El tomate no fue muy bien recibido, al principio, en la cocina italiana, pero tiempo después fue adoptado por la gastronomía de Italia y particularmente por la

napolitana. Y es precisamente en Nápoles donde comienzan a delinearse las características y popularidad de la pizza. De allí la creencia de que su verdadero y primigenio origen es italiano.

En el siglo XVIII las calles de esa ciudad eran recorridas por singulares vendedores que llevaban, en equilibrio, sobre sus cabezas unos pintorescos hornos a leña ofreciendo pizzas con diferentes condimentos. Y es precisamente en 1780 que nace la primer dinastía de pizzeros napolitanos al fundarse “Pietro...e basta cosi” (Pedro...y con eso basta), cuya tradición sigue vigente, después de 200 años, merced a la Antigua Brandi en Nápoles, en la que quienes la visitan pueden comprobar que la pizza también es un alimento de la nobleza: un documento datado a fines del siglo XIX, donde los reyes de Italia, los Saboya, agradecen a Rafael Esposito, maestro pizzero de “Pietro...e cosi” basta, por haber creado una pizza en honor de Su Majestad la Reina. Y hoy es conocida mundialmente con sus ingredientes: muzzarella, tomate y albahaca, como la pizza Margarita (Rangel, 2007).

2. MARCO TEÓRICO

La pizza es clasificada como un alimento cuya costra o base es leudada con levadura y que está cubierta con tomate, queso y uno o varios ingredientes adicionales que dan el sabor típico al producto. Aproximadamente el 55% del peso de una pizza lo hace la base, mientras que el otro porcentaje lo conforma el recubrimiento basado en queso y tomate.

Existen básicamente dos tipos de bases: la crujiente o tipo galleta y la más común semejante a un pan de alta densidad con mayor humedad. Las bases crujientes requieren harinas con mayor contenido de proteína, pero son amasadas con menor cantidad de agua. Un alto contenido proteico (12%) va ligado a mayor crujencia y menor pérdida de textura. Las bases de tipo pan son elaboradas a partir de harinas con menor contenido de proteína (10.5%) para facilitar el moldeo y para producir una miga más suave y masticable.

En caso de usarse harinas con contenido proteico más alto o gluten más fuerte es común tratar la harina con algún agente reductor para reducir el tiempo de mezclado y producir una masa relajada o que presente menos problemas de encogimiento cuando sea maquinada o moldeada a mano. El Cuadro 1 presenta una comparación entre las formulaciones típicas de las dos distintas bases para pizza.

Cuadro 1. Formulación típica para la elaboración de masa para elaboración de pizzas

Ingrediente	Masa tipo pan (%)	Masa tipo crujiente (%)
Harina ^a	100	100
Agua	60-65	55-60
Levadura	5-6	4-5
Manteca vegetal	1,5-5	5-10
Sal	1-2	1-2

^a Las harinas para masas congeladas contienen más proteína, mayor cantidad de levadura, emulsificantes (0.02-0.3%) y gomas para que la misma resista mejor al ciclo de congelado y descongelado.

Existen básicamente dos maneras de procesar pizzas congeladas: por medio de prensado y de laminado y corte. En el método de prensado la mezcla de ingredientes se amasa hasta desarrollar el gluten. Después, la masa se divide/bolea, se deja descansar para relajar el gluten, se coloca en los moldes y se le da un primer prensado con un disco o plancha prensadora. Posteriormente, se deja descansar la masa para que se vuelva a relajar el gluten en preparación para el segundo y último prensado. La masa ya extendida se deja fermentar bajo condiciones específicas de temperatura antes de ser pre horneada. En el método de laminado y corte, la masa se lamina gradualmente y se corta por medio de un dado de forma circular. La masa cortada se coloca en el molde de fermentación y horneado, para posteriormente pre hornearla (Serna, 1996).

2.1 Propiedades funcionales de los ingredientes utilizados en el proceso de elaboración del pan pizza

2.1.1 Harina de trigo

La harina de trigo está constituida principalmente por proteínas, almidón, lípidos, etc.

2.1.1.1 Almidón

En el grano de trigo, el almidón nativo se presenta en forma de gránulos esféricos y lenticulares de diversos tamaños. Amilosa y amilopectina están repartidas de forma aparentemente homogénea dentro del grano, con uniones intermoleculares de puente de hidrógeno, orientadas en ángulo recto con la superficie del grano. La forma y estructura de los granos de almidón ponen una cierta resistencia a las fuerzas mecánicas, a la penetración del agua y a la acción de las enzimas.

La susceptibilidad a la degradación enzimática del almidón aumenta cuando el almidón gelatiniza en la masa durante la cocción. La gelatinización del almidón es el cambio más perceptible en la masa durante el proceso de panificación. Además, es la explicación más evidente que justifica la transformación de la masa viscosa en un producto sólido cocido.

La gelatinización implica diferentes procesos, como la pérdida de birrefringencia y de cristalinidad, la absorción de agua, el hinchamiento del gránulo, la solubilización de la amilosa y la formación de la masa y de un gel.

El daño parcial de los gránulos del almidón durante la molienda, facilita la penetración del agua y el ataque amilásico. Por el hecho de existir vías de penetración originadas por las lesiones del grano de almidón y la presencia de agua, las amilasas tienen mayor accesibilidad a las cadenas de amilosa y amilopectina, permitiendo una mayor velocidad de amilólisis y fermentación.

Un exceso de almidón dañado puede tener connotaciones negativas para la panificación, ya que cuando la amilólisis es excesiva, las dextrinas formadas pueden hacer pegajosa la masa, en la medida que no sean transformadas rápidamente en azúcares. Por tanto, es importante definir una tasa óptima de almidón dañado, que en harinas panificables este valor se sitúa entre 6-9%.

La retrogradación del almidón se produce cuando las moléculas de almidón comienzan a asociarse en estructuras ordenadas.

2.1.1.2 Proteínas

Las proteínas del gluten, que representan aproximadamente un 80-90% del total de las proteínas de la harina blanca, permiten reconocer la calidad panadera de una harina. El gluten comprende esencialmente dos grupos de proteínas: gliadinas, definidas como la fracción insoluble en soluciones salina, y gluteninas, insolubles en soluciones salinas y soluciones alcohólicas. La fracción de gliadinas comprende proteínas monoméricas, con puentes disulfuro a nivel intramolecular. La fracción glutenina está formada por proteínas poliméricas cuyas sub-unidades están enlazadas vía puentes disulfuro intermoleculares para formar multipolímeros lineales concatenados.

La especial composición y las interacciones no covalentes entre gliadinas y gluteninas, con ellas mismas, dan lugar a la creación de la red de gluten. Cuando se hidratan, las gliadinas se comportan como un líquido viscoso, aportan extensibilidad a la masa. Las gluteninas, cuando se hidratan, se

comportan como un sólido elástico cohesivo aportando a la masa elasticidad y fuerza cohesiva. Una adecuada proporción entre gliadinas y gluteninas es muy importante para decidir el posible uso de la harina, y así las masas que son demasiado elásticas, pero inextendibles, no manifiestan buenas propiedades de panificación.

Desde que el agua es añadida a la harina y después, en el curso del amasado, se desatan las siguientes reacciones:

- Reordenación de las configuraciones espaciales de las proteínas
- Formación de enlaces no covalentes entre las proteínas y otros constituyentes de la harina
- Ruptura y formación de puentes disulfuro
- Aparición de una red compleja formada por las fibrillas de las proteínas

Las reacciones de polimerización-depolimerización de las proteínas (formación y ruptura de puentes S-S) se añaden a las reacciones de agregación-desagregación (ruptura de enlaces no covalentes); son facilitadas por la reactividad de los radicales tiol (-SH) de las proteínas solubles en agua. La aptitud de las unidades de glutenina para asociarse por medio de puentes S-S entermoleculares, es uno de los parámetros principales de los que depende la viscoelasticidad de la masa.

Las proteínas del gluten retienen el CO₂ desprendido durante la fermentación, con el consiguiente incremento de volumen en la masa, primero, y el pan, tras la cocción. Además de la coagulación de la proteína durante la cocción es responsable, junto con el almidón gelatinizado de la textura de la miga. En la Figura 1 se muestra un resumen de las proteínas de la harina de trigo (Callejo, 2002).

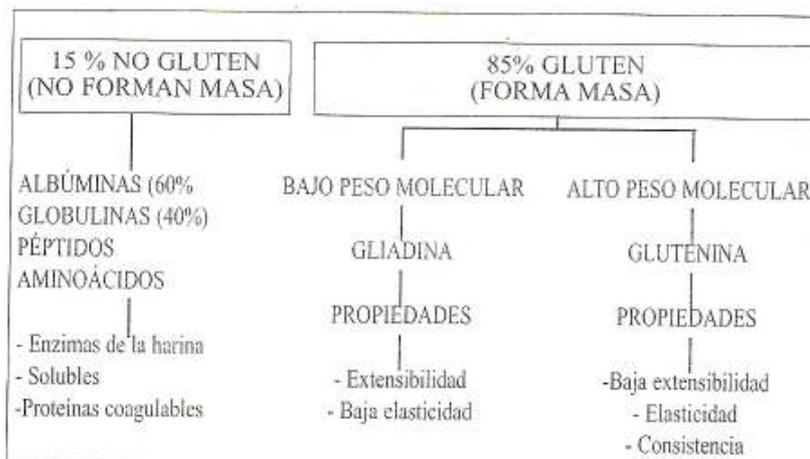


Figura 1. Proteínas de la harina de trigo

El diverso comportamiento del gluten es consecuencia de la composición en aminoácidos de la proteína de la harina de la que deriva de la orientación espacial de la cadena polipeptídica y de la distribución de la carga. De la hidrólisis de la proteína y por lo tanto del gluten se obtienen aminoácidos con cantidades mínimas de lisina y triptófano; la carencia de estos aminoácidos esenciales para el organismo humano, muestra que es necesario, desde el punto de vista nutritivo, complementar la harina de trigo con otra harina que contenga proteínas de mayor valor biológico.

La calidad tecnológica de la harina depende no sólo de la composición en aminoácidos del gluten, sino también de la presencia de aminoácidos sulfurados que contienen grupos tiol (-SH) o disulfuro (-S-S). Las uniones de disulfuros son importantes para la propiedad de la masa, ya que forman uniones cruzadas con cadenas polipeptídicas y con otras, reaccionando con los grupos tiol, pudiendo intercambiarse y por consiguiente dar movilidad a la estructura relativamente semirrígida de la masa. Los grupos tiol están en estrecha relación con la propiedad reológica de la masa, porque los -SH reaccionan facilitando el intercambio de puentes -S-S (Quaglia, 1991).

2.1.1.3 Lípidos

La composición de los lípidos de la harina de trigo se representa en la Figura 2.



Figura 2. Clasificación y distribución de los lípidos de la harina de trigo

La separación entre lípidos libres y ligados se basa en las diferencias en su solubilidad. Los lípidos libres se pueden extraer con disolventes no polares, tales como éter de petróleo. Los lípidos libres se pueden fraccionar mediante cromatografía en una columna de ácido salicílico, de acuerdo a su elución.

Los lípidos polares juegan un papel beneficioso en panificación, especialmente los lípidos libres polares, ya que los lípidos ligados al almidón no parece que jueguen un papel significativo en panificación, salvo,

quizás, tras la cocción en la que se produce la gelificación del almidón. Así, se ha puesto en evidencia la formación de enlaces entre lípidos y proteínas durante la hidratación de la harina en el curso del amasado.

Los lípidos polares y las moléculas de proteína forman asociaciones a modo de una doble capa molecular (Figura 3): los grupos polares de los lípidos se asocian con restos polares de los aminoácidos de la proteína y los grupos apolares se dirigen hacia el interior de la doble capa, facilitando así la hidratación de la harina y la ordenación y deslizamiento de las moléculas de proteína durante el amasado (Callejo, 2002).

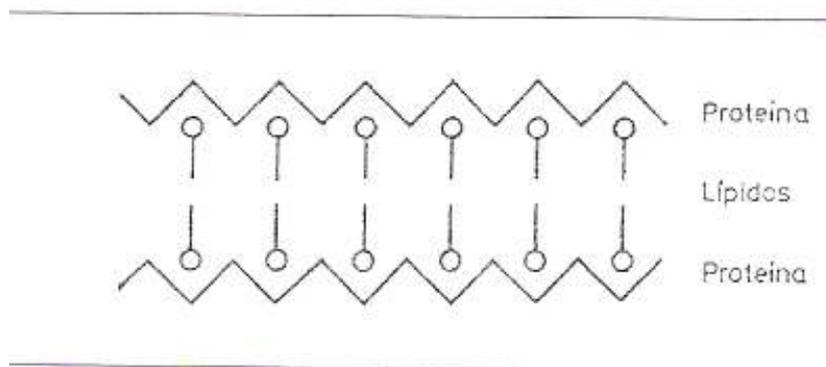


Figura 3. Asociación lípido proteína durante el amasado

2.1.2 Agua

El agua es el elemento fundamental para solubilizar los ingredientes necesarios para la elaboración de la pizza: activa la levadura, hidrata e hincha a los gránulos de almidón; es el agente necesario para el desarrollo y formación del gluten una vez que la harina hidratada es sujeta a la acción mecánica del mezclado o amasado. Generalmente, las harinas de trigos duros o panaderos son hidratadas con 60-66% de agua.

La distribución del agua en la masa es generalmente de 31% con la gliadina y las gluteninas, 46% con la fracción almidonosa y 23% con las pentosanas. Una vez que la masa es sujeta al proceso de horneado para la formación de pan pierde aproximadamente 10% de humedad y 77 y 23% del agua queda ligada a la porción almidonosa gelatinizada y a las pentosanas, respectivamente. El gluten se desnaturaliza y prácticamente pierde su función ligadora de agua. La dureza del agua puede afectar la calidad de los productos de panificación. Se recomienda utilizar agua clasificada como media-dura o 5-100 ppm de carbonato de calcio o sulfato de calcio (Serna, 1996).

Un índice analítico que tiene importancia por su influencia en la tecnología de la panificación, es el pH, ya que para un desarrollo óptimo de la masa, su valor debe estar comprendido entre 5 y 6. El empleo de agua alcalina, con pH superior a 7 confiere a la masa un pH mayor de 6, con lo que se obtiene una escasa producción de gas y un prolongamiento del tiempo de maduración, a causa de una reducida actividad de las levaduras, de las diastasas y de las bacterias lácticas. Un agua alcalina tiene efectos negativos sobre la formación del gluten y sobre su elasticidad: por lo tanto es necesario un agua ligeramente ácida. Se ha visto que el empleo de agua clorada provoca la reducción del tiempo de fermentación y mejora la calidad del pan, especialmente si se emplean harinas débiles.

Las características del agua tienen una notable influencia en el desarrollo de las diversas fases del proceso de panificación y sobre la calidad del producto final, por lo que es necesario emplear un agua apropiada (Quaglia, 1991).

2.1.3 Sal

La sal actúa principalmente sobre la formación del gluten, ya que la gliadina tiene menor solubilidad en el agua con sal, lo que da lugar a una masa obtenida con agua salada a la formación de una mayor cantidad de gluten. Por otra parte, el gluten formado tiene fibras cortas, como consecuencia de las fuerzas de atracción electrostáticas que ocurren en la malla formada con la sal, se presenta rígido, confiriendo a la masa mayor compactidad con respecto con respecto al gluten obtenido sin sal.

La sal favorece además la coloración de la superficie del pan, dando a la corteza una coloración más viva, haciéndola más crujiente y confiriéndole un aroma más intenso, respecto del pan sin sal. La sal influya también en la duración y estado de conservación del producto, debido a su capacidad para absorber el agua.

La dosis y el momento de añadir la sal son dos factores importantes que varían según el tipo de harina y del sistema de elaboración (Quaglia, 1991).

2.1.4 Manteca

La manteca vegetal hidrogenada actúa como agente lubricante mejorando el comportamiento de la masa durante el mezclado, disminuyendo principalmente el problema de pegosidad. Su principal función es mejorar la textura del pan produciendo una miga más suave. Esto es debido a que la manteca forma pequeñas películas entre la red del gluten y los otros constituyentes interfiriendo con el fenómeno de

retrogradación del almidón, el cual está asociado con la pérdida progresiva de textura del pan (Serna, 1996).

Estos efectos se deben a la acción emulsionante de los lípidos polares sobre el almidón y las proteínas. Cuando el almidón se mezcla con agua y se calienta, la amilosa se disuelve y poco a poco y se forma un gel; la larga cadena de los ácidos grasos de los lípidos añadidos se fijan a la hélice de la amilosa, retardando por consiguiente el proceso de retrogradación del almidón.

Mientras que los monoglicéridos insaturados mejoran el aspecto y la consistencia de la masa, los saturados permiten un mejor esponjamiento y por consiguiente un mayor volumen del pan. Esto se debe al hecho de que los monoglicéridos insaturados son mucho más solubles en las grasas que los saturados, lo que permite, debido a una reducción de la tensión superficial, la formación de una capa más sutil de las grasas y por consiguiente un aumento de la suavidad de la miga. En cambio, los monoglicéridos saturados fijan las burbujas de gas debido a un efecto de cristalización, con lo que permiten un aumento de volumen (Quaglia, 1991).

2.1.5. Levadura

2.1.5.1 Tipos de levaduras

a) Levadura prensada. Está constituida por *Saccharomyces cerevisiae*. Son las más utilizadas en la industria de la panificación, vienen en pastillas generalmente de 500 g. Se aplican en masa que tiene un proceso de fermentación durante su elaboración. Sus características principales son: color, puede variar del blanco al crema; olor, característico, agradable y ligeramente alcohólico; sabor, casi insípido. Su humedad no puede ser inferior a 75%.

Existen tres tipos: 1) rápidas: se utilizan para procesos automatizados de fermentaciones muy cortas; 2) lentas: usadas generalmente para congelación o para fermentaciones muy largas; y 3) congeladas: utilizadas para panes congelados y su mantenimiento es igualmente congelado.

b) Levadura deshidratada. Es el producto obtenido por la deshidratación de las levaduras. Puede presentarse en polvo, esferas irregulares o barritas irregulares. Se caracteriza principalmente por: la cantidad de proteínas no será inferior al 45% calculada sobre materia seca, la cantidad de materia grasa será inferior al 3%, la humedad es inferior al 8% y debe estar exenta de sustancias extrañas y de almidón (Calaveras, 1996).

2.1.5.2 Función de las levaduras

La función de las levaduras en panificación es producir una transformación de la masa, que pasa de ser un cuerpo poco activo a ser un cuerpo fermentativo, donde se desarrollan las reacciones químicas y fisicoquímicas más activas. Por un lado, la retención de CO₂ (producido en la fermentación alcohólica) por el gluten, provoca una acción de subida de la masa con el consiguiente incremento del volumen de los panes elaborados a partir de harina de trigo. Por otro lado, la fermentación de la levadura conduce a la formación de un gran número de compuestos volátiles que aportan las características asociadas al sabor y aroma del pan. En la Figura 4 se representa esquemáticamente la amilólisis y el metabolismo de la levadura.

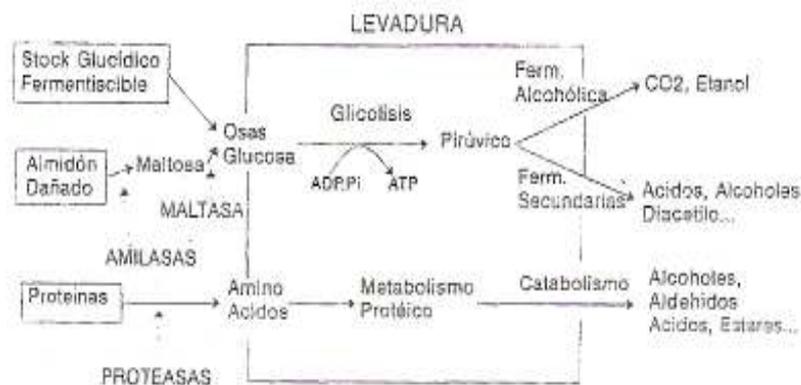


Figura 4. Fermentación en panificación: representación esquemática de la amilólisis y el metabolismo de la levadura

El metabolismo de las hexosas por las levaduras se realiza por la ruta glicolítica. Durante el amasado se incorpora aire a la masa y la levadura está en condiciones de iniciar el metabolismo de tipo respiratorio, a través de la degradación del piruvato por el ciclo de Krebs. Unos minutos después de la terminación del amasado, todo el oxígeno introducido ha sido consumido por la levadura, por lo que el metabolismo se orienta hacia la fermentación alcohólica. El dióxido de carbono producido se disuelve primero en el agua libre de la masa. Cuando ésta se satura, se acumula en forma gaseosa para ejercer una presión interna sobre la red impermeable del gluten, elástica y extensible, permitirá a la masa fermentar manteniendo la estructura externa.

La secuencia de procesos asociados al metabolismo de la levadura y, junto a ellos, las fases de levantamiento de la masa son tres:

1. Consumo rápido de azúcares libres (glucosa/fructosa) existentes en la harina, que comienza desde el contacto de la levadura con la harina. La mayor parte del gas que se ha producido durante esta fase es evacuado durante el formado de la masa.
2. Consumo lento de azúcares que se han producido por la degradación del almidón.
3. Última fermentación, que se da en el horno hasta que la masa adquiere la temperatura de 55 °C, a la que mueren la levaduras (Callejo, 2002).

La acción de las levaduras se concreta principalmente con una reducción de pH, debida en parte, al CO₂, producido que se disuelve en el agua de la masa. En el Cuadro 2 se muestran las principales características de las levaduras comerciales.

Cuadro 2. Características de las levaduras comerciales

	Forma	Sust. seca %	Prot. % (1)	pH	MI CO ₂ (2) poder fer.
A. Pres.	Bloques Gránulos	27/34	42/56	4,5/6,0	300-400
B.1 Desh. Activ.	Esferas Poivo irreg.	92	40/43		160-185
B.2 Desh. Inst.	Barritas Fragmentos	95	42/52	5,5/7,5	290-340

(1) N(Kjeldhf) x 6,25 s.s.
(2) MI CO₂ en 165/285 mg levadura s.s. (harina, H₂O, sal).

La levadura denominada *Saccharomyces cerevisiae*, tiene una temperatura óptima de 28 °C, que es donde mayor cantidad de gas produce. Por lo tanto, a -30 °C, muere por frío y por calor a los 55 °C, teniendo una paralización de actividad a los 4 °C.

2.1.5.3 Efectos del pH

Se ha observado que la levadura es un factor importante para estabilizar el pH de la masa y que la máxima formación de gas se tiene para valores de 4 a 5.5. Durante la fermentación todas las vías fermentativas van equilibradas entre masas que tengan un valor de pH entre 5 y 5.5. Al final del amasado tan importante es comprobar la temperatura como el pH, que debe estar entre 4.4 a 5.1. El pan final al igual que durante la fermentación no debe pasar de un pH de 6, porque de esta manera se facilita el desarrollo de *Bacillus subtilis* que producirá en el pan el problema del pan ahilado (Calaveras, 1996).

2.2 Definición y composición de la okara

Okara es el nombre que se le da a la pulpa residual obtenida una vez que se filtra el frijol molido mezclado con agua para obtener bebidas de soya. Los métodos de producción de las bebidas de soya, del cual la okara es producida, varían, pero la proporción de agua para la soya es usualmente entre 8:1 a 10:1.

En el método chino, los frijoles son hidratados, enjuagados, y molidos, y la okara es filtrada; en el método japonés la soya rehidratada es cocida antes de ser molida y filtrada. Cerca de 1.1 kg de okara fresca es producida por cada kilogramo de soya procesada para leche de soya. El okara contiene 30% de sólidos, 20% de proteínas y 11% de aceite, además de un alto contenido en fibra (O'Toole, 1999).

La composición química y el contenido de nutrientes de la okara propuesta por Perkins (1995) se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición y contenido de nutrientes de la okara por cada 100 g (base húmeda)

Compuesto/nutriente	Cantidad	Compuesto/nutriente	Cantidad
Agua	81.6 g	Hierro	1.30 mg
Contenido energético	77 kcal	Zinc	----
Proteína (n x 5.71)	3.2 g	Tiamina	0.02 mg
Grasa	1.7 g	Riboflavina	0.02 mg
Carbohidratos	12.5 g	Niacina	0.1 mg
Fibra cruda	4.1 g	Vitamina B ₆	----
Calcio	80 mg	Ácido fólico	----

Otra composición química de la okara encontrada por Ma *et. al.*, en 1997, se muestra en el Cuadro 4 y se compara con otros productos derivados de la soya.

Cuadro 4. Composición química de productos de soya (% en base seca)

Producto	Proteína	Carbohidratos	Grasa	Cenizas
Harina de soya	39.5	29.6	23.3	4.98
Harina de soya desgrasada	50.74	36.5	-----	6.18
Okara	26.8	52.9	12.3	4.54
PI80 °	83.2	8.73	-----	3.21
PI25°	81.6	7.40	-----	2.98
Supro 16	90.0	4.38	-----	4.31

PI80°: proteína aislada de okara preparada a 80°C, desgrasada

PI25°: proteína aislada de okara preparada a 25°C, desgrasada

En el Cuadro 5 se muestra el perfil de aminoácidos encontrados por Ma y col., en 1997, para las proteínas aisladas de la okara y el supro 610, y se comparan con el patrón establecido por la FAO.

Cuadro 5. Contenido de aminoácidos esenciales (g/16g N) de productos de soya

Aminoácido	PI80°	PI25°	Supro 610	FAO ^a
Treonina	3.8	3.9	3.8	4.0
Valina	4.7	4.3	5.0	5.0
Cisteína	0.9	1.2	1.3	3.5
Metionina	1.0	1.3	1.3	3.5
Isoleucina	4.4	4.1	4.9	4.0
Leucina	8.0	7.3	8.2	7.0
Tirosina	3.6	3.6	3.8	6.0
Fenilalanina	5.2	4.7	5.2	6.0
Lisina	6.0	6.4	6.3	5.5

PI80°: proteína aislada de okara preparada a 80°C, desgrasada

PI25°: proteína aislada de okara preparada a 25°C, desgrasada

^a Valores tomados de FAO/WHO Joint Ad Hoc Committee (1973)

2.2.1 Utilización de okara

Turhan *et. al.* (2007) estudiaron los efectos (composición proximal, colesterol, pH, características sensoriales) de la adición de diferentes niveles de okara (0, 7.5, 15, 22.5 y 30%) a empanadas de carne magra de vaca. La adición de okara redujo el contenido de colesterol por cerca del 6-56%, para

empanadas crudas de carne de vaca, y del 9-42% para empanadas cocinadas de carne de vaca. El rendimiento de las empanadas cocinadas aumentó por la adición de okara. El efecto de la okara en pasta en las propiedades sensoriales fue estadísticamente significativo ($P < 0,05$), y las concentraciones con mayor aceptabilidad por los consumidores fueron del 7,5, 15 y 22,5% de okara. Los resultados indican que la okara en pasta puede ser agregada al 22.5% para la producción de empanadas de carne de vaca más baratas y más saludables.

También se ha utilizado okara deshidratada, hasta una concentración del 10%, para fortificar tortillas de maíz nixtamalizado; y en dulces se ha agregado hasta un 18.3% y 27.4% de okara para aumentar la disponibilidad de las proteínas de la okara en los dulces. La okara también puede ser utilizada, por medio de fermentación, para la producción de condimentos, especias y tempe (Turhan, 2007).

Otro estudio realizado por Katayama y Wilson (2008), se enfocó en la elaboración de una botana utilizando okara y aceite de soya. Se realizaron análisis estadísticos con pruebas descriptivas, análisis instrumentales y análisis químicos, para comparar resultados. El producto frito hecho a partir de aceite de soya bajo en ácidos grasos saturados y okara parcialmente deshidratada libre de lipooxigenasa dio sabor, textura y apariencia, parecidos a la referencia estándar. El producto final contenía 11.4% de proteína y 7.4% de fibra dietaria, del cual fueron, respectivamente, 1.5 y 2.0 veces más altos que la referencia. El calcio contenido fue también 4.3 veces más alto que la referencia (Katayama, Wilson, 2008).

2.2.2 Propiedades funcionales de la okara

Algunos componentes de los productos de soya, que es probable que estén presentes en el okara, incluyen isoflavonas, lignanos, fitosteroles, saponinas y fitatos. Estos componentes tienen varias funciones fisiológicas y terapéuticas como actividad antioxidante, la prevención de enfermedades cardiovasculares y agentes quimiopreventivos para ciertos tipos de cáncer (Turhan, 2007).

2.2.2.1 Solubilidad

En la Figura 5 se muestra la solubilidad de los diferentes productos de soya, estudiados por Ma. *et al.*, (1997), entre ellos, el okara y dos proteínas aisladas de ésta. Todas las muestras tienen un comportamiento de campana invertida, en donde la solubilidad más baja se encuentra cerca de valores de pH entre 4 y 5.

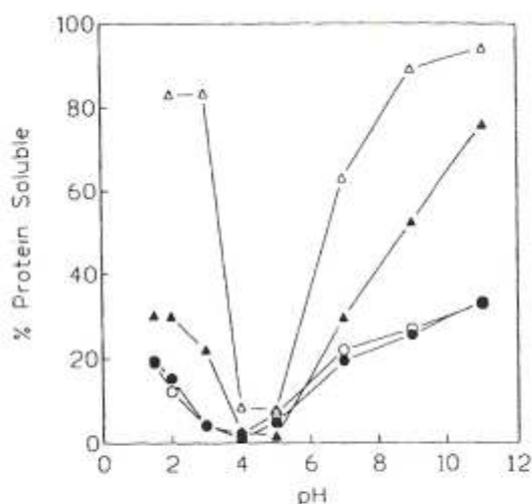


Fig. 5. pH solubility curves of soy protein products. Δ : defatted soybean flour; \circ : Supro 610; \blacktriangle : okara protein isolate prepared at 25°C; \bullet : okara protein isolate prepared at 80°C. Each data point represents average of a duplicate determination.

Figura 5. Curvas de solubilidad para diferentes productos de soya

2.2.2.2 Capacidad de ligar agua y grasa

El Cuadro 6 muestra la propiedad de ligar agua y grasa de los productos de soya. La capacidad de ligar grasa de las proteínas aisladas de la okara es significativamente ($P \leq 0.05$) más alta que la del Supro 610. Esto puede atribuirse en parte a las diferencias en densidad (Cuadro 6). La capacidad de hidratación de las proteínas aisladas de la okara no fueron significativamente ($P > 0.05$) diferentes que la del Supro 610.

Cuadro 6. Propiedades ligadoras y espumantes de proteínas de productos de soya

Producto	Densidad (g/mL)	FBC (mL/g)	WHC (mL/g)	Estabilidad espumante (min)
PI80°	0.31	3.0	5.1	20.2
PI25°	0.29	2.9	4.3	27.1
Supro 610	0.43	1.5	5.2	4.3

FBC: capacidad ligadora de grasa; WHC: capacidad de hidratación

PI80°: proteína aislada de okara, preparada a 80 °C

PI25°: proteína aislada de okara, preparada a 25 °C

2.2.2.3 Propiedades emulsificantes

El Cuadro 7 muestra las propiedades emulsificantes de las muestras de aislados de soya. Las proteínas aisladas de okara tienen actividad y capacidad emulsificante similares a las del supro 610, pero la estabilidad de la emulsión es más baja en las proteínas aisladas de la okara. Los bajos valores de la actividad y la estabilidad emulsificante en PI80° comparada con la PI25° pueden ser atribuidos a la desnaturalización de las proteínas por calor (Ma, 1997 y Chan, 1999).

Cuadro 7. Propiedades emulsificantes de las proteínas de productos de soya

Producto	EAI (m ² /g)	ESI (min)	EC (mL/100g)	ES (%)
PI80°	29.6	2.2	44.7	6.2
PI25°	34.2	3.9	41.0	11.7
Supro 610	35.0	6.5	43.7	13.1

EAI: índice de actividad emulsificante; ESI: índice de estabilidad de la emulsión; EC: capacidad de emulsión; ES: estabilidad de la emulsión

PI80°: proteína aislada de okara, preparada a 80 °C

PI25°: proteína aislada de okara, preparada a 25 °C

2.3 Pan precocido

En la técnica del pan precocido la cocción del pan se efectúa en dos etapas: la masa se elabora como en un proceso tradicional, aunque introduciendo algunas modificaciones en su formulación (calidad de harina, aditivos) y es sometida a la primera etapa de cocción (que supone aproximadamente el 45% del tiempo total de cocción y se efectúa a una temperatura unos 30°C inferior a la de un proceso tradicional de cocción única).

Una vez finalizada esta primera cocción (en la que el pan ha alcanzado su máximo desarrollo pero la corteza no está coloreada), el pan se saca del horno y se enfría a temperatura ambiente para, a continuación, ser sometido a un sistema de conservación (no solo han de evitarse las alteraciones microbiológicas del pan precocido, -se trata de productos con humedad superior al 45% y valores de actividad de agua superiores a 0.9-, sino que también debe ralentizarse su proceso de envejecimiento) que prolongará su vida útil hasta el momento del consumo. Es entonces cuando se le someterá a la segunda etapa de la cocción de manera que el pan, al concluir ésta, quede completamente terminado.

El envasado en atmósfera modificada puede definirse, en general, como “la inclusión de los productos alimenticios en un film de alta barrera a los gases en el que los gases del medio ambiente han sido

reemplazados o modificados para ralentizar los ratios de respiración, reduciendo el crecimiento microbiológico y retardando el deterioro enzimático con la intención de aumentar la vida útil del producto”.

Los cinco elementos principales que hay que definir en este sistema de conservación de pan precocido son: equipo de envasado, composición de los gases, tipo de film, calidad del producto, temperatura de conservación. Usando la mezcla adecuada CO₂:N₂, la conservación de los productos de panificación sin contaminación microbiana se puede extender de 1 a 3 meses a temperatura ambiente (Callejo, 2002).

3. JUSTIFICACIÓN

Según datos del Instituto Nacional de Salud Pública actualmente más de 70 millones de mexicanos tienen problemas de sobrepeso u obesidad. Los expertos afirman que los mexicanos han optado por cambiar su dieta tradicional basada en maíz, cereales y leguminosas, por una dieta de comida rápida de pizzas, hamburguesas y refrescos. Es por ello que se busca elaborar un producto de consumo habitual por la población mexicana aprovechando los beneficios nutrimentales de la okara, como lo son el aporte de proteínas y fibra, para incrementar el valor nutritivo de dicho producto. También se busca aprovechar el aumento en la producción de la okara, de 50 a 70 toneladas por semana, de la empresa Grupo Industrial Biotec de Celaya, que generalmente se destina para alimento de animales.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar pan pizza adicionado con okara y evaluar las características del mismo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar pan pizza empleando levadura en polvo y en pasta.
- Establecer las formulaciones del pan pizza con okara.
- Evaluar las características fisicoquímicas del pan pizza.
- Caracterizar la fermentación de la masa.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Elaboración de masa para pan pizza casero

En la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración del pan pizza. Para la elaboración de la masa se trabajó con una formulación base que se muestra en el Cuadro 8 (Serna, 1996).

Cuadro 8. Formulación base para la elaboración de pan pizza

Ingredientes	Cantidad (%)
Harina de trigo	100
Agua	65
Levadura	5*, 6**
Sal	2
Manteca vegetal	4

*Levadura instantánea deshidratada

**Levadura en pasta

Primero se elaboró una masa para pan pizza con levadura instantánea deshidratada. Para lo cual se pesaron todos los ingredientes (harina de trigo, okara, sal, levadura instantánea deshidratada, manteca vegetal y agua). A continuación se extendió la harina en la mesa y se formó un hoyo en el centro de la misma, posteriormente se añadió la manteca vegetal y la levadura disuelta en la mitad del agua, y se comenzó el amasado de forma manual. Por último se añadió la sal disuelta en la otra mitad del agua y se continuó con el amasado durante 7 minutos hasta la formación de una masa viscoelástica.

Se dejó fermentar a temperatura ambiente hasta que duplicó su volumen, aproximadamente media hora. A continuación se procedió al laminado con una laminadora para pastas, en la apertura No. 1, que nos dio una altura de la masa de aproximadamente 5 mm; se cortó la masa con un molde circular de 9 cm de diámetro y finalmente las piezas formadas se colocaron en charolas para pre-hornealas en el horno para pizza a 150 °C durante 7 minutos.

Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se les realizó los análisis correspondientes de dimensiones (altura, diámetro, peso, volumen), pH, actividad de agua, humedad y resistencia al corte. Posteriormente se procedió a elaborar una masa para pan pizza casera, pero ahora se utilizó levadura prensada. De igual forma se le realizaron los análisis mencionados anteriormente, a excepción de la resistencia al corte.

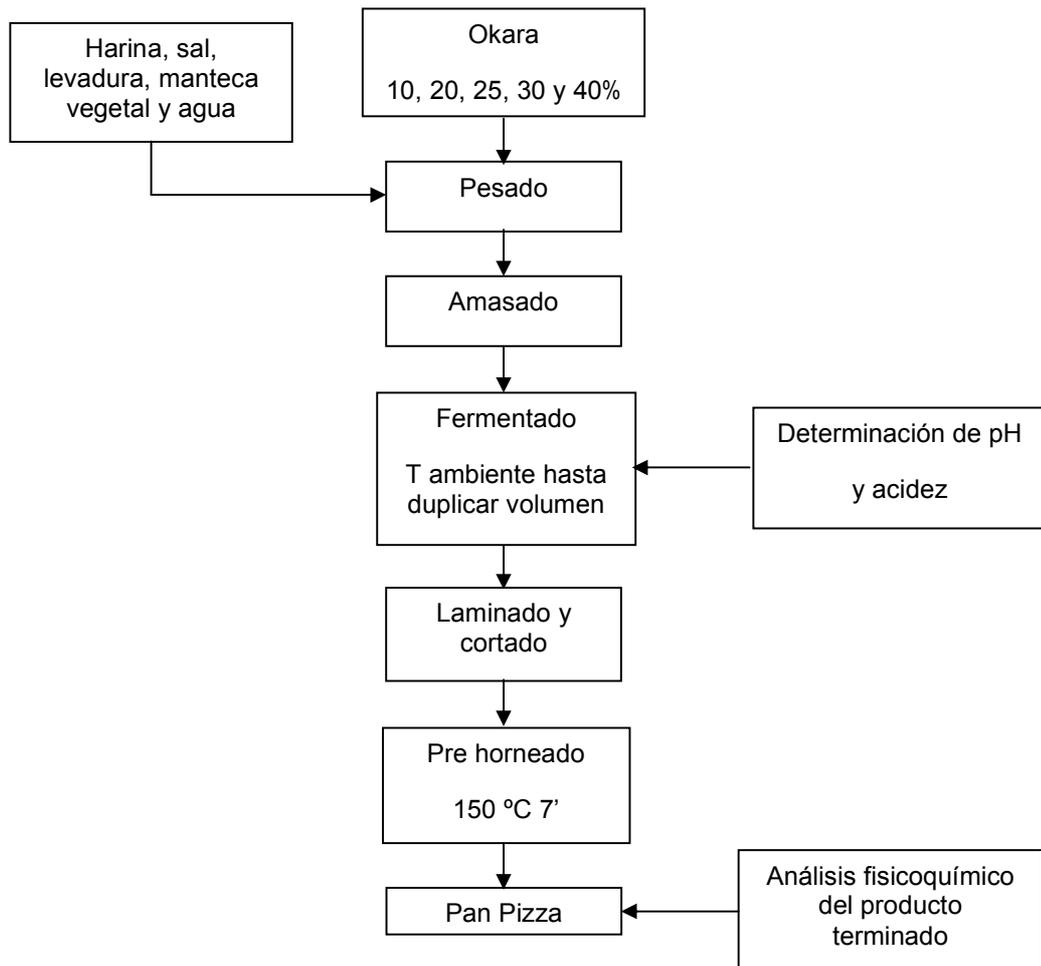


Figura 6. Diagrama de bloques para la elaboración de pan pizza

5.2 Elaboración de masa para pizza con okara

El procedimiento utilizado fue el mismo que para la masa de pan pizza casero. En esta parte del proyecto se elaboraron distintos tipos de pan pizza con diferentes concentraciones de okara (10, 20, 25, 30 y 40%), en los cuales se sustituyó la harina de trigo por las concentraciones de okara correspondientes. En el Cuadro 9 se muestra el nivel de incorporación de la okara, en donde los demás ingredientes no se muestran porque permanecieron constantes. La incorporación de okara se hizo en base al contenido de harina de trigo (Serna, 1996) ya que es el componente mayoritario de este tipo de productos, por lo que el porcentaje de agua se calculó con base en el peso total de los ingredientes utilizados.

Cuadro 9. Nivel de incorporación de okara

Muestra	%Harina de trigo	% okara	%agua
A	100	0	36.93
B	90	10	36.93
C	80	20	38.28
D	75	25	40.93
E	70	30	44.35
F	60	40	45.40

En la elaboración de las muestras con concentraciones de okara por arriba del 25%, ésta se agregó después de la fermentación y se le dio un último amasado adicionando parte del agua que no se adicionó en el primer amasado. Para las muestras elaboradas con levadura instantánea deshidratada se realizaron determinaciones de dimensiones (altura, diámetro, peso, volumen), pH, actividad de agua, humedad y resistencia al corte; y para las muestras elaboradas con levadura en pasta se realizaron las mismas determinaciones antes mencionadas a excepción de la de resistencia al corte.

5.3 Caracterización de la fermentación de la masa

Se elaboraron masas para pan pizza utilizando los procedimientos antes descritos, tanto para la masa de pan pizza casero como la masa de pan pizza con okara hasta la concentración del 20%, se utilizó levadura en pasta. Se tomó el tiempo desde el momento en que la masa se dejó fermentar, y cada 5 minutos se realizaron mediciones de altura de masa, pH y acidez, hasta transcurridos 35 minutos.

5.4 Materiales y equipo

Harina de trigo marca La Moderna

Manteca vegetal marca Alsak

Agua natural marca Bonafont

Levadura en polvo marca Tradi-pan

Levadura en pasta marca La Florida

Sal refinada marca La Fina

Okara marca Cuadritos Biotec

Material de uso común de laboratorio

Higrómetro marca Aqualab Modelo Series 3TE

Texturómetro Universal Instron Modelo 41066. Celda kramer de carga de 500 kg, velocidad del papel de 10 cm/min

Laminadora para pastas marca Atlas Marcato tipo Lusso Modelo 150

Termobalanza marca Sartorius Modelo MA45

Horno para pizzas Convection marca Babani, Modelo HCX

5.5 Métodos de análisis

5.5.1 Determinación del contenido de humedad. Método de la termobalanza. (Manual de operación, 2004)

5.5.2 Determinación de pH. Método del potenciómetro (Método 4.9). (Hart y Fisher, 1991)

5.5.3 Determinación de actividad de agua. (Manual de Operación, 2007)

5.5.3.1 Fundamento

La actividad de agua (A_w) es una medida del estatus de energía del agua en un sistema. Indica cómo el agua está ligada o "atada", estructuralmente o químicamente, dentro de una sustancia. La actividad del agua es la humedad relativa del aire en equilibrio con una muestra medida en una cámara sellada. El concepto de actividad de agua es de gran importancia en la calidad del producto y la seguridad del mismo. La actividad de agua influencia en el color, olor, sabor, textura y vida de anaquel de muchos productos. Predice la seguridad y la estabilidad con respecto al crecimiento microbiano, las reacciones químicas y bioquímicas, y las propiedades físicas.

El higrómetro AquaLab utiliza la técnica de punto de rocío en espejo frío para medir la A_w de una muestra. En un instrumento que utiliza la técnica de punto de rocío, la muestra es equilibrada en el espacio de cabeza de una cámara sellada que contiene un espejo y un medio de condensación en el espejo. En el equilibrio, la humedad relativa del aire en la cámara es igual que la actividad de agua de la muestra. En el higrómetro AquaLab, la temperatura del espejo es controlada precisamente por un enfriador termoeléctrico (Peltier). La detección del punto exacto en cual aparece la primera condensación en el espejo es observado con una célula fotoeléctrica. Un rayo de la luz es dirigido en el espejo y reflejado en una célula del fotodetector. El fotodetector censa el cambio en reflectancia cuando la condensación ocurre en el espejo. Un termopar conectado al espejo entonces registra la temperatura en la cual la condensación ocurre. El higrómetro AquaLab entonces señala por un destello del led verde y/o un beeping. La actividad de agua final y la temperatura de la muestra entonces son mostradas.

Además de la técnica descrita arriba, el higrómetro AquaLab utiliza un ventilador interno que circula aire dentro de la cámara de la muestra para reducir el tiempo de equilibrio.

5.5.2.2 Pasos para realizar las mediciones

1. Gire la perilla de cajón de muestra a la posición "open/load" y tire del cajón para abrirlo.
2. Coloque su muestra preparada en el cajón.

3. Deslice con cuidado el cajón para cerrarlo, es especialmente cuidadoso si usted tiene una muestra líquida que puede salpicar o puede rociar y poder contaminar la cámara.

4. Gire la perilla de cajón de muestra a la posición "read", para sellar el portamuestra con la cámara. Aparecerá lo siguiente en la pantalla: "cámara sellada, comienza la lectura".

Esto comenzará el ciclo de lectura. En cerca de 40 segundos, la primera medida de A_w será mostrada en la pantalla LCD. La cantidad de tiempo para puede variar dependiendo de las diferencias de la temperatura entre la cámara y la muestra, y otras propiedades de la muestra.

5. Al cabo de cierto tiempo el led cambiará a verde y finalmente se toma la lectura mostrada en la pantalla LCD (Manual de operación, 2007).

5.5.4 Determinación de acidez. Método A3a. (Less, s/a)

5.5.5 Determinación de la resistencia al corte (textura). Método Prensa de cizalla "Kramer" (Less, s/a)

La determinación se realizó con el texturómetro Universal Instron Modelo 41066 con una celda kramer de carga de 500 kg. Se realizó a una velocidad del papel de 10 cm/min.

1. Cortar cuadros de aproximadamente 5 cm².

2. Colocar los cuadrados dentro de la celda, y se dejaron caer las cuchillas (Less, s/a).

3. Determinar la resistencia al corte de 5 muestras por cada concentración de okara en un texturómetro Instron, utilizando una celda de carga kramer de 500 kg y una velocidad de papel de 10 cm/min.

4. Realizar la medida de la resistencia al corte con ayuda de las gráficas obtenidas.

5.5.6 Determinación de dimensiones

Para cada una de las diferentes muestras elaboradas, con ayuda de un vernier, realizar las mediciones de diámetro y altura. Además anotar el peso de cada una de ellas. Realizar las mediciones por triplicado.

5.2.7 Análisis estadístico ANOVA. Programa de Excel 2007.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados para el pan pizza elaborado con levadura instantánea deshidratada

En el Cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos para las determinaciones de dimensiones de los diferentes tipos de pan pizza elaborados con levadura instantánea deshidratada. En el cual se observó que a medida que se incrementó la incorporación de okara, el peso de las muestras fue disminuyendo, a excepción de la muestra con 30% de okara. Esta disminución de peso se debe a que la fibra que contiene la okara tiene la propiedad de retener agua, lo que a su vez hace que se tenga que incorporar más agua en el amasado, y a la hora del horneado toda el agua que se absorbió se evapora, dejando un producto más ligero a medida que aumenta la cantidad de okara y por lo tanto la cantidad de fibra. En cuanto al diámetro, la okara no parece tener un efecto muy notable a este respecto, ya que cualquier producto de panificación, al someterse a cocción tiende a reducir su tamaño, es decir, pierde elasticidad, (Callejo, 2002) que es una característica de las masas para la elaboración de pan.

Con respecto a la altura, ésta se utilizó para calcular el volumen del pan pizza elaborado, el cual también disminuyó al aumentar la concentración de okara, debido a que las proteínas de la okara son globulares y no tienen la propiedad de formar gluten, que es el responsable de conferir el volumen al pan por la retención del gas producido durante la fermentación, antes y después del horneado, de tal modo que al aumentar la cantidad de okara (proteínas) se fue disminuyendo la cantidad de proteínas de la harina de trigo que si tienen la propiedad de formar gluten.

Cuadro 10. Dimensiones del pan pizza elaborado con levadura deshidratada

Muestra*	Peso (g)	Ø (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm³)
A	40.53	8.9	1.37	85.23
B	27.4	8.675	0.8	47.28
C	24.57	8.93	0.5	31.32
D	24.775	8.68	0.5	29.59
E	25.2	8.85	0.65	39.98
F	20.06	8.83	0.4	24.49

*Ver cuadro 9

En relación al análisis fisicoquímico de las muestras de pan pizza, el Cuadro 11 muestra dichos resultados. Aquí se observó que la humedad de las muestras fue en aumento, conforme se incrementó la cantidad de okara, esto se debe principalmente a lo que se había mencionado anteriormente de la

propiedad de la okara de retener agua y por consiguiente al aumento de la cantidad de agua utilizada durante la etapa de amasado.

También se observó que la okara no contribuyó en un cambio muy notable en el pH, aunque el aumento en este probablemente se debió al pH de la okara que es de 6.24. Aunque estos pH no son recomendables ya que por arriba de 6 se favorece el desarrollo de *Bacillus subtilis*, lo que nos producirá problemas de filamentos, mal olor y sabor del pan, es decir, pan ahilado (Calaveras, 1996).

La actividad de agua de estos productos está por encima de 0.9, que es generalmente la que se presenta en productos de panificación. Aquí la okara tampoco tuvo un efecto muy notable. Por lo que es necesaria la adición de conservadores como los propionatos para evitar la contaminación por bacterias, hongos y levaduras.

Cuadro 11. Análisis fisicoquímico del pan pizza elaborado con levadura deshidratada

Muestra*	% Humedad	pH	Aw
A	36.47	6.36	0.95
B	38.235	6.68	0.961
C	38.39	6.73	0.960
D	36.5	6.19	0.951
E	38.64	6.65	0.960
F	38.96	6.2	0.95

*Ver cuadro 9

En la Figura 7 se muestran los resultados del análisis de resistencia al corte (textura) para las muestras de pan pizza elaboradas con levadura instantánea deshidratada. En donde se puede ver que a una concentración de okara del 40%, el pan pizza presenta una menor resistencia al corte, lo que se traduce en un pan más blando, esto se debe en parte al mayor contenido de humedad de dicho pan (Cuadro 11).

Además de que al irse enfriando el pan pizza que no contiene okara, comienza el fenómeno de retrogradación del almidón, lo que nos da el endurecimiento del pan (envejecimiento), entonces, en el pan pizza que contiene 40% de okara no hay tanto almidón que se retrograde, por lo cual el endurecimiento es menor y por lo tanto la resistencia al corte también.

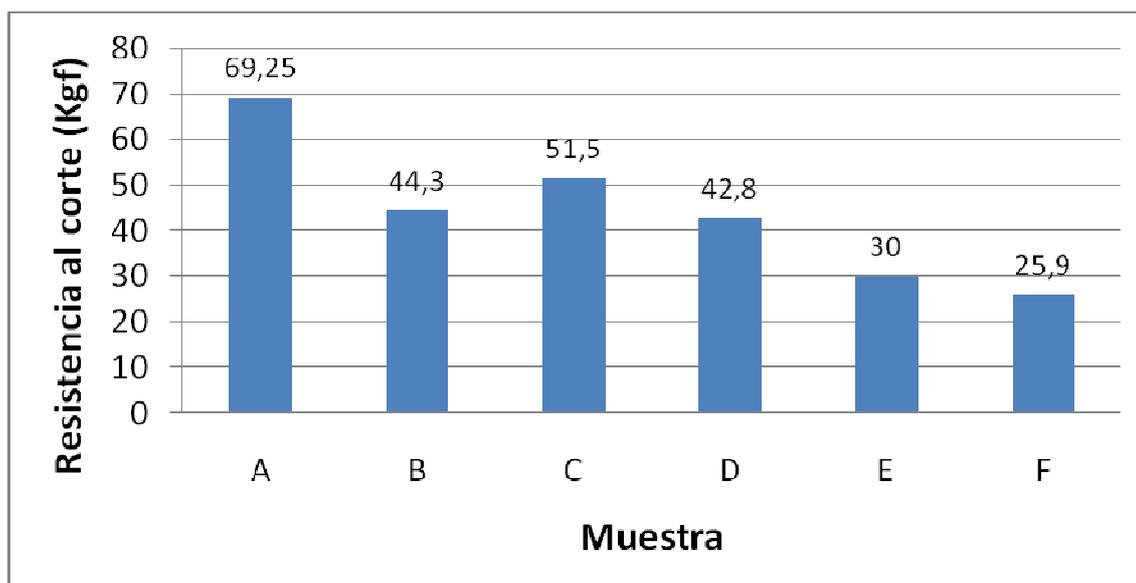


Figura7. Resistencia al corte del pan pizza elaborado con levadura deshidratada

Para la determinación de resistencia al corte se realizó un análisis estadístico de varianza (ANOVA) por medio de un programa de Excel 2007 para saber si existía diferencia significativa entre las muestras. Obteniendo que si hay diferencia significativa a un nivel de significancia del 5% de forma general entre las muestras, dichos resultados se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Análisis estadístico de varianza para la resistencia a corte del pan pizza elaborado con levadura deshidratada

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7371,26667	5	1474,25333	42,9863686	3,3065E-11	2,62065415
Dentro de los grupos	823,1	24	34,2958333			
Total	8194,36667	29				

Una vez que se determinó que sí existía diferencia significativa, se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), para saber específicamente que muestras eran diferentes (Pedrero). Los cálculos realizados se muestran en el Anexo I, y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

A	C	B	D	E	F
74 ^a	51.5 ^b	44.3 ^{bc}	42.8 ^c	30 ^d	26 ^d

En donde se puede ver que la muestra que presenta mayor resistencia al corte es la A y la que presenta menor resistencia al corte es la F. Las muestras C, B, D y E, muestran una menor resistencia al corte significativamente menor con respecto a la muestra A. Sin embargo no existe diferencia significativa entre las muestras C y B, B y D y entre las muestras E y F, a un nivel de significancia del 5%.

6.2 Resultados para el pan pizza elaborado con levadura en pasta

En el Cuadro 13 se pueden observar las dimensiones del pan pizza elaborado con diferentes concentraciones de okara con levadura en pasta. Este pan pizza presentó mayor volumen después del pre horneado, que el pan pizza elaborado con levadura deshidratada, debido a que la levadura en pasta tiene un mayor poder fermentativo, 300-400 ml CO₂, que la levadura deshidratada que sólo tiene de 290-340 ml CO₂, (Calaveras, 1996). En cuanto al peso y al diámetro no hubo mucha diferencia entre el pan pizza elaborado con levadura deshidratada y el pan pizza elaborado con levadura en pasta.

Cuadro 13. Dimensiones del pan pizza elaborado con levadura prensada

Muestra*	Peso (g)	Ø (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm³)
A	37.41	8.1	1.75	90.18
B	27.34	8.5	0.95	53.91
C	26.87	8.5	0.9	51.1
D	29.8	8.45	0.85	47.67
E	25.62	8.67	0.73	43.1
F	22.98	8.57	0.5	28.84

*Ver cuadro 9

En lo referente a los análisis fisicoquímicos realizados al pan pizza elaborado con levadura prensada, se observó que el pH disminuyó (Cuadro 14) con respecto al pH del pan pizza elaborado con levadura deshidratada, esto debido a que durante la fermentación de la masa, la cantidad de CO₂ producido que se disuelve en el agua, contribuye a la disminución del pH (Calaveras, 1996), y en este caso, como la levadura prensada presenta mayor poder fermentativo, entonces esto contribuyó a la disminución del pH. Otro factor importante que pudo haber influenciado en esta disminución del pH es la calidad de las levaduras utilizadas y las cantidades utilizadas de las mismas, ya que una cantidad excesiva de levadura puede no tener el mismo efecto (baja producción de CO₂ y de ácidos orgánicos) que si se adicionara la cantidad correcta de levadura, esto se puede observar en el Cuadro 8, en donde el porcentaje adicionado de ambas levaduras fue casi el mismo, siendo que Quaglia, 1991, establece que la cantidad de levadura instantánea adicionada debe ser una tercera parte de la cantidad adicionada de levadura prensada. En cuanto a la humedad, Roudot, 2004, reporta que el pan presenta una humedad aproximada al 45%, que es muy parecida a los porcentajes de humedad obtenidos para el pan pizza

elaborado con levadura en pasta. En cuanto a la actividad de agua no hubo una variación considerable al utilizar uno u otro tipo de levadura.

Cuadro 14. Análisis fisicoquímico del pan pizza elaborado con levadura prensada

Muestra*	% Humedad	pH	Aw
A	36.24	6.25	0.962
B	33.69	6.25	0.96
C	33.54	5.83	0.954
D	42.82	5.83	0.96
E	45.14	5.87	0.967
F	43.62	5.92	0.952

*Ver cuadro 9

6.3 Resultados para la caracterización de la fermentación

La caracterización de la fermentación es de gran importancia debido a que muchas de las propiedades organolépticas (aroma, estructura, etc.) dependen de las condiciones en las que se lleva a cabo la fermentación como lo es la temperatura, la humedad relativa del ambiente, el pH y la acidez.

Los resultados obtenidos en la caracterización de la fermentación se muestran en los cuadros del 15 al 17. En estos cuadros se puede observar que a medida que se aumentó la concentración de okara, el pH de la masa también aumentó, esto se debió probablemente a que el pH de la okara, 6.24, contribuyó en gran parte al aumento de éste, es decir, a la hora de disolver la masa en el agua destilada, la cantidad de iones hidrógeno disociados aumentó al aumentar la concentración de la okara.

Por el contrario, al determinar la acidez de la masa, se cuantifica la cantidad total de un ácido presente, en este caso el acético, es decir, la cantidad de iones hidrógenos tanto disociados como no disociados.

Cuadro 15. Caracterización de la fermentación de masa para pizza con harina de trigo utilizando levadura en pasta

Tiempo (min)	pH	% Acidez	Altura de la masa (cm)
0	5.74	1.18	2.2
5	5.74	0.885	2.9
10	5.75	1.18	3.6
15	5.76	1.18	4.1
20	5.86	1.475	4.3
25	5.89	1.33	4.6
30	5.94	1.18	4.6
35	6.03	1.18	4.7

Por lo que este aumento de pH también se vio reflejado en el aumento de acidez ya que, el pH óptimo para la fermentación alcohólica es de aproximadamente 5; a pH mayores, en el proceso de fermentación se produce una cantidad excesiva de glicerina y ácido acético (Quaglia, 1991), lo cual también explica el aumento de la acidez de la masa conforme pasa el tiempo y conforme aumenta la concentración de okara.

Cuadro 16. Caracterización de la fermentación de masa para pizza con harina de trigo y 10% de okara utilizando levadura en pasta

Tiempo (min)	pH	% Acidez	Altura de la masa (cm)
0	5.62	3.245	2.5
5	5.68	1.77	3
10	5.61	2.065	3.7
15	5.67	2.065	3.8
20	5.66	2.124	3.8
25	5.72	2.065	3.8
30	5.73	1.92	3.8
35	5.78	1.77	4

En cuanto al volumen, la masa que no contenía okara alcanzó la mayor altura que las otras dos que si contenían, luego le siguió la masa que contenía 10% de okara y por último la masa que contenía 20% de okara, esto se debe principalmente, como se había mencionado anteriormente, a que la cantidad de fibra que contiene la okara no permite el aumento de la altura de la masa, además de que las proteínas de la okara no son capaces de formar la red de gluten, entonces a mayor cantidad de okara es menor la cantidad de harina que es capaz de formar la red de gluten, que finalmente va a funcionar como una red impermeable que no va a permitir la salida del CO₂ producido durante la fermentación.

Cuadro 17. Caracterización de la fermentación de masa para pizza con harina de trigo y 20% de okara utilizando levadura en pasta

Tiempo (min)	pH	% Acidez	Altura de la masa (cm)
0	6.01	2.95	1.6
5	6.06	3.245	1.7
10	6.07	3.39	2
15	6.07	2.95	2.1
20	6.09	3.245	2.5
25	6.1	2.39	2.7
30	6.3	2.36	2.8
35	6.09	2.65	2.8

Es necesario mantener el pH de la masa en un rango de 5-5.5 para que todas las vías fermentativas estén equilibradas, y así no se produzcan olores ni sabores indeseables en el producto terminado. Así mismo el pH del producto final debe estar por debajo de 6 para asegurar que el producto es de calidad (Calaveras, 1996).

7. CONCLUSIONES

- Se elaboró pan pizza utilizando dos tipos de levadura: en pasta e instantánea deshidratada.
- El nivel de incorporación de okara al que se llegó en la elaboración de pan pizza utilizando levadura en pasta y levadura instantánea deshidratada fue del 10%, 20%, 25%, 30% y 40%, siendo necesario que para concentraciones por arriba del 25%, el okara se adicionó después de la fermentación de la masa.
- Se caracterizó la fermentación de la masa para pan pizza utilizando levadura en pasta. Con concentraciones del 0, 10 y 20% de okara.
- Se determinaron las características fisicoquímicas y de dimensiones del pan pizza elaborado a diferentes concentraciones de okara utilizando levadura instantánea deshidratada y levadura prensada.
- La levadura en pasta actúa mejor sobre la masa, para producir un pan pizza más suave.
- Durante la elaboración del pan pizza, conforme se aumentó la concentración de okara, fue necesario aumentar la cantidad de agua aproximadamente de un 2% a un 8%, utilizando ambos tipos de levadura.
- De acuerdo al análisis de varianza realizado para la prueba de textura, se concluye que conforme aumenta la concentración de okara en el pan, éste ofrece menor resistencia al corte.
- La mejor formulación encontrada fue la del pan pizza elaborado con levadura en pasta y con una concentración de okara del 30%, debido a que presenta una textura blanda, tiene una humedad del 45.14% y un pH de 5.87.

8. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- Para posteriores experimentos se recomienda utilizar una cámara de fermentación, para mantener la temperatura y humedad relativa óptimas para la levadura, ya que en este trabajo, los experimentos se realizaron a temperatura y humedad del ambiente.
- Adicionar aditivos como reguladores de pH, conservadores, para garantizar que la fermentación se llevará a cabo adecuadamente, y para garantizar la calidad del producto elaborado.
- Realizar evaluación sensorial del producto con una prueba hedónica de siete puntos y una prueba descriptiva con una escala no estructurada.
- Realizar el análisis bromatológico del pan pizza.
- Realizar prueba de vida de anaquel, envasando el producto con atmósferas modificadas o al vacío.

9. REFERENCIAS

1. Adriano (Fecha de consulta: 26 de marzo de 2007) <http://panepizza.blogspot.com/2006/07/masa-para-pizza-con-poolish.html>
2. Argüelles, G. V. 2004. "Elaboración de pan pizza a partir de masa madre fresca y congelada adicionado con inulina como prebiótico" ENCB. IPN. México D.F. pp. 2, 3, 20-25
3. Calaveras, J. 1996. "Tratado de panificación y bollería". AMV Ediciones. Madrid, España. pp. 103-113, 151-157, 192-203, 218-227, 368-395.
4. Callejo, G. Ma. de J. 2002. "Industria de cereales y derivados" AMV Ediciones. Madrid, España. pp. 191-213, 239, 240, 303.
5. Chan W.M., Ma C.Y. 1999. "Acid modification of proteins from Soymilk Residue (Okara)". *Food Research International*. 32 : 119-127
6. Chan W.M., Ma C.Y. 1999. "Modification of Proteins from Soymilk Residue (Okara) by Tripsin". *Journal of Food Science*. 64 (5): 781-785
7. Hart F.L., Fisher H. J. 1991. "Análisis moderno de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 2-21
8. Katayama, M., Wilson L.A. 2008. "Utilization of Okara, a Byproduct from Soymilk Production, through the Development of Soy-Based Snack Food". *Journal of Food Science*. 73 (3): 152-157
9. Less, R. s/a. "Análisis de los alimentos. Métodos analíticos de control y calidad". Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pp. 64, 224-226
10. Ma, C. Y.; Liu, W. S.; Kwok, K. C. 1996. "Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara)". *Food Res. Int.* 29: 799-805
11. NOM-147-SSA1-1996, bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
12. Operating Instructions Sartorius Moisture Analyzer Model MA45, MA145. Sartorius AG. Goettingen, Germany, 2004. Pp. 10,11
13. Operator's Manual. Water Activity Meter. Version 5. Models Series 3 and 3TE. Decagon Devices, Inc. 2007. Pp. 5-7, 39,40
14. O'Toole, D. K. 1999. "Characteristics and use of okara, the soybean residue from soy milk production- a review" *J. Agric. Food Chem.* 2 (2): 63-370.
15. Pedrero, D.L. 1997. "Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos". Editorial Alhambra Mexicana. México, D.F. pp. 139-144
16. Pérez, X. I. 2004. "Estudio de las características reológicas y nutricionales de una tortilla elaborada con harina extrudida a partir de maíz y okara" ENCB. México D.F. pp. 10, 16, 17

17. Perkins E. G., 1995. Practical Handbook of Soybean. Processing and Utilization. Editorial AOCS Press. Pp. 15-17
18. Quaglia G. 1991. "Ciencia y tecnología de la panificación". Editorial Acribia. Zaragoza, España. P. 35-42, 107-138, 229-232, 237, 238, 297-310, 329-335.
19. Rangel, U. P. (Fecha de consulta: 24 de marzo de 2007). <http://www.ameritalia.id.usb.ve/piazz.studi.gastonomia.002.pasta.htm>
20. Roudot, A.C. 2004. "Reología y análisis de la textura de los alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 54-56, 182-18
21. Serna S. S. R. O. 1996. "Química, almacenamiento e industrialización de los cereales" AGT Editor, S.A. México D.F. pp. 245-248, 465
22. Turhan S., Temiz H., Sagir I. 2007. "Utilization of Wet Okara in Low-fat Beef Patties". Journal of Muscle Foods. 18: 226-235
23. Wageningen University (Fecha de consulta: 24 de marzo de 2007). <http://www.food-info.net/es/qa/qa-fp56.htm>