



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y REOLÓGICO DE PRODUCTOS
ENRIQUECIDOS CON HARINA DE *Jatropha curcas* NO TÓXICA**

ELIZABETH ARGÜELLO GARCÍA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: “Análisis fisicoquímico y reológico de productos enriquecidos con harina de *Jatropha curcas*” no toxica, realizada por la alumna: Elizabeth Argüello García, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

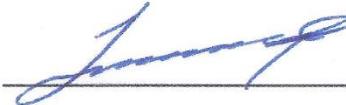
MAESTRA EN CIENCIAS

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

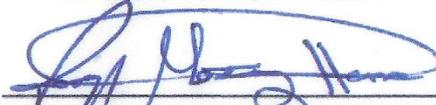
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



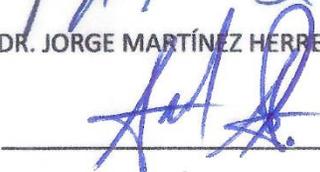
DR. LEOBIGILDO CÓRDOVA TÉLLEZ

ASESOR:



DR. JORGE MARTÍNEZ HERRERA

ASESOR:



DR. ODILON SÁNCHEZ SÁNCHEZ

ASESOR:



DR. TARSICIO CORONA TORRES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre del 2015

**Análisis fisicoquímico y reológico de productos enriquecidos con harina de
*Jatropha curcas no toxica***

Elizabeth Argüello Garcia M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

La semilla de *Jatropha curcas L.*, ha adquirido importancia por su alto contenido en aceite (60%) y proteína (40%), siendo el aceite, el que mayor uso tiene para la elaboración de biodiesel, lo que hace a esta oleaginosa muy importante para la alimentación humana y/o animal por su alto contenido de proteína. Con el uso de la semilla se estará contribuyendo a abatir el problema de desnutrición, que adolece a nuestra sociedad ya que en México cerca del 43% de la población padece algún tipo de malnutrición. En el presente estudio se realizó la caracterización reológica y de textura de harina de trigo con harina de *J. curcas* para su incorporación en la industria panadera en la elaboración de galletas y pizza, también se caracterizó harina de maíz con harina de *J. curcas* para la elaboración de tortillas. Para la fortificación de ambas harinas se estableció 5 tratamientos, 5%, 10%, 15%, 20% de sustitución con harina de *J. curcas* y el testigo. Se realizó un análisis bromatológico (proteína, lípidos, cenizas, fibra) en las formulaciones de harinas y productos terminados; además se evaluaron algunos aspectos de calidad como factor galletero, roabilidad, inflado, color, dependiendo del producto. Se efectuó un análisis sensorial bajo una prueba hedónica, para valorar la aceptabilidad por parte del consumidor. Los resultados reológicos indicaron que la harina de trigo con harina de *J. curcas* corresponde a una harina de

gluten suave, con un rango de absorción de agua del 46.45 a 54.07%, y un parámetro muy indicativo de este tipo de harina es W el cual fluctuó entre 290.78 a 89.50 x 10⁻⁴ J. Reológicamente la mezcla de harina de maíz con harina de *J. curcas*, demostraron ser aptas para la producción de tortillas, porque se obtuvieron masas con cohesividad y adhesividad, que le confirieron mayor firmeza y menos pegajosidad. En el análisis bromatológico el contenido de proteína de la harina desgrasada de *J. curcas* fue mayor (55.01%), en comparación con las harinas de trigo y maíz (9.85% y 8.01% respectivamente). El contenido proteico de galletas incrementó de 9.48% a 16.46%, en pan para pizza de (11.52%-16%) y tortillas (4.65%-10.85%), al adicionar harina de *Jatropha curcas*. En las galletas fortificadas la humedad osciló entre (2.45% a 3.63%), este parámetro es importante para su empleo industrial (no influyendo en tortillas y pan para pizza); el factor galletero fue de 4.92 a 4.65, lo que indica muy buena calidad. La roabilidad e inflado en las tortillas fue bueno, siendo las mejores muestras la T5 y T10 sin rupturas y formación de la ampolla completa, mientras que en T15 y T20 se observó una ruptura del 25% con inflado medio para la segunda muestra. El color en masas y tortillas se definió hacia el blanco por que los valores de (L) incrementaron a 2.29 al 20% y en tortillas los valores oscilaron de 77.87 a 78.47. En la evolución sensorial se observó que los productos elaborados con harina de *J. curcas* presentan una buena aceptabilidad al igual que las de harina de trigo y maíz. Se demostró que con el incremento del contenido proteico hasta de un 20% con harina de *J. curcas*, los productos fortificados no se vieron afectados por la aceptación del consumidor.

Palabras claves: *Jatropha curcas* L, harina, composición química, análisis reológico.

**PHYSICOCHEMICAL AND RHEOLOGICAL ANALYSIS OF PRODUCTS ENRICHED
WITH FLOUR OF *Jatropha curcas* NON TOXIC**

Elizabeth Argüello Garcia M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The seeds of *Jatropha curcas* L., has gained importance because of its high oil content (60%) and protein (40%), the oil, which was used mainly for the production of biodiesel, however there are few studies on the use of this oilseed for human and / or animal given by the high content of protein. Using the seed would contribute to abate the problem of malnutrition that our society suffers because in Mexico about 43% of the population suffers from some form of malnutrition. In the present study the rheological and texture of wheat flour *J. curcas* for incorporation in the baking industry in developing cookies and pizza bread characterization was performed, cornmeal was also marked with *J. curcas* meal for making tortillas. For fortifying five formulations both flours, 5%, 10%, 15%, 20%, substitution settled *J.curcas* flour. Compositional analysis (protein, fat, ash, fiber) to flours and finished products, and these in turn were assessed quality as is the Spread ratio, rolabilidad, inflation, color, depending on the product was made. A sensory analysis was performed under a hedonic test, to assess the acceptability by the consumer. The rheological results indicate that wheat flour with flour *J.curcas* corresponds to a soft flour gluten, a water absorption rate of 46.45 to 54.07%, and a parameter indicative of the type of flour which is fluctuated W from 290.78 to 89.50 W x 10⁻⁴ J. rheologically mix cornmeal flour *J. curcas*, proved suitable for the production of tortillas, because masses were obtained with cohesiveness and adhesiveness, which

conferred the greatest mass strength and less tack. In compositional analysis the protein content of defatted *J.curcas* was (55.01%) compared with wheat flour and corn (9.85% and 8.01%) respectively. The protein content of biscuits increased (9.48% -16.46%) was observed in pizza bread (11.52% -16%) and tortillas (4.65% -10.85%). And if the tilt cookies humidity between (2.45% -3.63%) important parameter for industrial use, not influencing tortillas and pizza. The Spread ratio in fortified biscuits was 4.92 to 4.65 describing them with very good quality compared to the witness who was of excellent quality. And inflating the rolabilidad tortillas was good in the samples being T5 and T10, unbroken and complete formation of the blister, while T15 and T20 in a break of 25% was observed with inflation means for the second sample. The color in mass and tortillas defined at the target in all samples. In the sensory outcome was observed that products made with flour *J. curcas* have good acceptability as well as wheat flour and corn. It was shown that with increasing protein content in fortified products up to 20% with flour *J.curcas* not affected by consumer acceptance.

Keywords: *Jatropha curcas* L., flour, chemical composition, rheological analysis

DEDICATORIA

A mis padres **Ramiro Argüello Sánchez** y **María Elena García Fierro**, por guiarme y creer en mí, ya que con su esfuerzo y trabajo me dieron la oportunidad de estudiar formarme como profesional. Ustedes son mi pilar y fortaleza “LOS AMO PAPAS”.

A mi esposo Jorge Martínez Herrera “**amor**” por ser participe en este proyecto por guiarme aconsejarme, pero sobre todo por compartir tus conocimientos conmigo. Y estar en todo momento dispuesto ayudarme. “soy una mujer muy bendecida por tener un hombre como tú.

Muy en especial para mis dos angelitos parte fundamental de mi vida. Antes que nada les pido perdón por el tiempo que no les dedique, por preparar este sueño en mi vida profesional, tal vez son muy pequeños para comprender estas palabras, sin embargo **Sami** gracias por estar en todo momento desde que estabas en mi pancita no me cansare de decirte que eres mi primer amor, mi **Beida** que con cada sonrisa que me regalabas, mitigabas cada gota de cansancio que había en mí, te amo mi princesa.

A mis hermanas **Yadira** y **Mayra**, por el apoyo incondicional que me han brindado, siempre tienen palabras de aliento que me motivan y ayuda a seguir, en esos momentos difíciles, a mis sobrinas Yareli, Erika a mi cuñado, a mi gran y querida abuelita (Chechita) no podías faltar tú mi consejera, amiga, madre, que viste por mí desde pequeña sé que estas muy orgullosa de mí, solo tengo dos palabras para describirte “guerrera de la vida”, solo pido tener tu fortaleza.

A mi abuelito Juan, Leobardo, Corne y a toda la **familia** que directa e indirectamente han contribuido en cada etapa de mi vida.

A **Orfe** por cuidar de mis pequeños con mucho amor y dedicación, eres pieza importante en esta etapa de mi vida, sin ti esto no se hubiese logrado, gracias por dedicar estos cuatro años de tu vida para mi familia.

A mis amigos y amigas (Dianita, Sra. Dalila, Sarita) necesitaría más de dos hojas para nombrar a cada uno de ustedes solo me basta decirles gracias por compartir alegrías y tristezas de cada uno de ustedes las llevo en mi corazón y cada vivencia queda en mi memoria.

A **Dios** por darme la dicha de tener una vida plena, con virtudes y defectos. Sé que en cada proyecto que emprendo es el mi maestro, mi guía, mi luz y que por medio de cada una de las personas que ha puesto en mi vida, me han enseñado el camino hacia el triunfo.

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente;
no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios
estará contigo en dondequiera que vayas.

Josué 1:9

AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados Campus Montecillo** por la oportunidad de seguir mis estudios y lograr un objetivo más en mi vida profesional.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por la beca otorgada, para culminar satisfactoriamente los estudios de maestría.

al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CEVAMEX)** y al equipo de trabajo del laboratorio de calidad del trigo en especial a la **M.C. Patricia Pérez Herrera, M.C Eliel Martínez Cruz**, por haberme recibido, apoyado, por compartir sus conocimientos conmigo pero sobre todo por su gran disponibilidad de ayudar en cualquier momento.

Al **Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, al Dr. Armando Guerrero Peña** encargado del laboratorio de suelos, plantas y aguas (LASPA), por permitirme el uso de equipos para la realización de este trabajo.

Al **Dr. Juan Manuel Zaldívar Cruz**, por la facilidad prestada en el laboratorio de alimentos por su apoyo incondicional y amistad brindada durante mi estancia en Colpos-Tabasco.

A la **Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH)**, por permitirme el uso de sus instalaciones para la realización de la parte final de este trabajo.

Un especial agradecimiento a mi consejo:

Dr. Leobigildo Córdova Téllez por guiarme con paciencia, dedicación y por sus valiosas aportaciones tan certeras que contribuyeron de manera significativa a este trabajo.

Dr. Odilón Sánchez Sánchez, por la contribución al buen desarrollo de esta investigación, por su gran disponibilidad de ayudar, pero sobre todo por ser amigo de la familia.

Dr. Tarsicio Corona Torres por la oportunidad de contar con su ayuda y experiencia en este trabajo, y por el conocimiento compartido en el aula.

CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS	x
TABLE ÍNDEX.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema	1
2. Objetivos particulares	3
3. Hipótesis	3
4. Revisión de literatura	3
5. LITERATURA CITADA	23
CHAPTER I. RHEOLOGICAL, CHEMICAL AND SENSORIAL PROPERTIES OF MAIZE TORTILLAS FORTIFIED WITH NON-TOXIC <i>Jatropha curcas</i> L. FLOUR	31
ABSTRACT	32
INTRODUCCIÓN	33
MATERIALS AND METHODS	34
RESULTS AND DISCUSSION.....	37
ACKNOWLEDGMENT	43
REFERENCES	43
CAPITULO II. PROPIEDADES REOLÓGICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE GALLETAS Y PAN PARA PIZZA FORTIFICADOS CON HARINA DE PIÑÓN (<i>Jatropha curcas</i>).	51
RESUMEN.....	51
ABSTRACT	53
INTRODUCCIÓN	55
MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
CONCLUSIONES	78
LITERATURA CITADA.....	78
CONCLUSIONES GENERALES	83

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los trigos en base al tipo y características del gluten incluyendo los usos industriales al que se destinan.	16
Cuadro 2. Composición de aminoácidos esenciales presente en maíz (g/100 g de proteína)....	20
Cuadro 3. Clasificación de las harinas de acuerdo a su fuerza y relación tenacidad/extensibilidad	22
Cuadro 4. Formulación de harinas para la elaboración de Galleta y pan para pizza.....	58
Cuadro 5. Escala para calificar la calidad galletera	61
Cuadro 6. Composición química de las harinas.....	62
Cuadro 7. Propiedades viscoelásticas de masa de trigo fortificada con harina de <i>J. curcas</i>	63
Cuadro 8. Características farinográficas.....	67
Cuadro 9. Análisis químico proximal de galletas	71
Cuadro 10. Calidad galletera	72
Cuadro 11. Análisis químico proximal de pan para pizza.....	76

TABLE ÍNDEX

Table 1. Chemical composition of flours from different sources.	48
Table 2. Texture profile of maize dough fortified with non-toxic <i>J. curcas</i> flour.	48
Table 3. Proximal chemical analysis of maize tortillas fortified with non-toxic <i>J. curcas</i> flour.	49
Table 4. Hardness, rollability and inflatedness in maize tortilla fortified with non-toxic <i>J. curcas</i> flour.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Acceptability of maize tortilla fortified with non-toxic <i>J. curcas</i> flour	50
Figure 2. a) Classification of the variables “I like it” and “I dislike it”, b) Variables with the highest acceptability	50
Figure 3. Alveogramas; a) testigo 100% harina de trigo; b) trigo con 5% de <i>J. curcas</i> ; c) trigo con 10% de <i>J. curcas</i> ; d) de trigo con 15% de <i>J. curcas</i> ; e) de trigo con 20% de <i>J. curcas</i>	66
Figura 4. Farinogramas; a) testigo: 100% harina de trigo; b) trigo con 5% de <i>J. curcas</i> ; c) trigo con 10% de <i>J. curcas</i> ; d) trigo con 15% de <i>J. curcas</i> ; e) trigo con 20% de <i>J. curcas</i>	69
Figura 5. Grafica de valores del factor galletero	72
Figura 6. Grado de aceptabilidad de galletas a base de harina de <i>J. curcas</i> , a diferentes % de sustitución.	73
Figura 7 a) Clasificación de los 7 parámetros “me gusta” y “me disgusta”, b) parámetros con mayor aceptabilidad por los panelistas (me gusta bastante).	74
Figura 8. Grado de aceptabilidad de pan para pizza a base de harina de <i>J. curcas</i> , con diferentes % de sustitución.....	77
Figura 9. a) Clasificación de los 7 parámetros en “me gusta” y “me disgusta”, b) parámetro con mayor aceptación por los panelistas “me gusta bastante”	77

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas que afectan a la población humana en el ámbito mundial es el hambre y la malnutrición. En México se presentan cuatro tipos de alimentación: buena, regular, mala y muy mala, estas dos últimas ocasionan deficiencia en proteínas y energía, así como la carencia de algunas vitaminas y minerales (Ramos y Pino, 2001; ENSANUT, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012) señala que 840 millones de personas son afectadas por la desnutrición, de las cuales 398 millones son infantes, 230 millones tienen retraso de crecimiento y 50 millones padecen desnutrición extrema y 13 millones de bebés nacen cada año con restricción de su crecimiento. Se estima que 40 países del mundo presentan prevalencias de desnutrición crónica superior a 40%, de los cuales 23 se localizan en África, 16 en Asia y uno en América Latina; 52 países tienen una prevalencia de desnutrición crónica inferior a 20%, que se localizan: 17 en América Latina y el Caribe, 11 en Europa y 4 en África y Oceanía (ENSANUT, 2012).

ENSANUT (2012) menciona que México experimenta un crecimiento acelerado en la prevalencia de obesidad y enfermedades crónicas, que incluye la población infantil. De 1998 a 2012, 42.7% de infantes menores de cinco años padecieron desnutrición (Hall *et al.*, 2013). En 2012 se reportan 472,890 (5%) niños con bajo peso, 1, 194,805 (13.6%) bajos en talla y entre los estados con mayor incidencia de

desnutrición crónica se señalan Chiapas, Guerrero, Yucatán y Oaxaca, con 27, 22.1, 21.6, y 20.3%, respectivamente (ENSANUT, 2012).

Para mitigar la problemática señalada en México, la industria de los alimentos y el gobierno federal, han realizado programas de fortificación de productos alimenticios de alto alcance, entre estos, tortilla y productos de panificación, mediante la adición de nutrientes a las harinas de trigo y maíz para reponer las vitaminas y minerales que se pierden durante la transformación de los granos en harina (Figuroa *et al.*, 2001).

La tortilla de maíz (*Zea mays* L.) en México aporta aproximadamente 70% de las calorías de la energía total y 50% del consumo proteico diario. No obstante, está presenta deficiencia de aminoácidos esenciales (lisina y triptófano), lo que repercute en enfermedades como el marasmo y en casos extremos kwashiorkor, que afectan el desarrollo físico, fisiológico y cerebral del individuo, especialmente en niños (Vázquez y Amaya, 2010; Serna, 1996). También la tortilla de maíz carece de los niveles adecuados de hierro y zinc, así como vitamina A, D, E y B12 (Vázquez y Amaya, 2010).

La semilla de *J. curcas* del ecotipo no tóxico, carece de ésteres de forbol, es consumida tradicionalmente en la región del Totonacapan, esta semilla contiene más del 50% de aceite apto para la elaboración de biocombustible, la pasta resultante después del desgrasado alcanza más de 55% de proteínas, destacando las del tipo globulinas (44.4%) y glutelinas (39.8%), seguidas de albuminas (12.3%) y prolaminas (3.4%) (Martínez, 2004). El perfil de aminoácidos esenciales y contenido de triptófano son superiores a los reportados por el patrón FAO/OMS (Makkar *et al.*, 1997). En este sentido, esta harina representa una excelente alternativa para la fortificación de

productos elaborados con maíz y trigo, lo que puede contribuir a mitigar el problema de desnutrición que padece la población.

2. Objetivos particulares

- a. Cuantificar las propiedades fisicoquímicas, reológicas y organolépticas de la masa y tortillas de la mezcla de harina de maíz y de *J. curcas*.
- b. Cuantificar las propiedades fisicoquímicas, reológicas y organolépticas de la masa, pizza y galletas de la mezcla de harina de trigo y de *J. curcas*.

3. Hipótesis

- a. Existe una proporción de harina de maíz/harina de *J. curcas* que incrementa el contenido proteico sin afectar las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la masa y tortillas.
- b. Existe una proporción de harina de trigo/harina de *J. curcas* que incrementa el contenido proteico sin afectar las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la masa y productos elaborados como galletas y pizza.

4. Revisión de literatura

4.1 Alimentación y desnutrición

La FAO (2000) establece que toda persona tiene derecho a consumir alimentos sanos y nutritivos, a una alimentación adecuada y a no padecer hambre. Esto equivale a contar con alimentos suficientes que satisfagan las necesidades nutricionales básicas de los individuos. La ONU (2008) señala que la seguridad alimentaria existe, cuando

“toda persona en todo momento tiene acceso económico y físico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y preferencias a fin de llevar una vida sana y activa”.

El proceso a través del cual el organismo obtiene de los alimentos la energía y los nutrimentos necesarios para el sostenimiento de las funciones vitales y de salud se le conoce como nutrición. Una ingesta inadecuada de alimentos en calidad o cantidad ocasiona la mala nutrición, la cual se asocia con defectos en diversas funciones y con un aumento en el riesgo de varias enfermedades, por lo que la nutrición es uno de los principales determinantes en el proceso de tener una buena salud (ENSANUT, 2012).

La mala nutrición resultante del consumo excesivo de alimentos o de energía conduce al sobrepeso u obesidad, reconocidos como factores de riesgo para varias enfermedades, además de interactuar con factores genéticos que pueden conducir a padecimientos, como enfermedades cardiovasculares, la diabetes y algunos tipos de cáncer (Amaya y Alanís, 2009).

En cambio, la mala nutrición que resulta del consumo deficiente de alimentos o nutrimentos se conoce genéricamente como desnutrición, la cual tiene como causas biológicas, la ingestión dietética inadecuada y la elevada incidencia de enfermedades infecciosas y parasitarias que aumentan las necesidades de algunos nutrimentos, disminuyen su absorción, o provocan pérdidas de micronutrientes. (CONEVAL, 2010).

4.1.1 Desnutrición proteica.

En niños, la desnutrición proteico-calórica ocasiona un retraso en el crecimiento corporal, debido a la posibilidad de desarrollo de marasmo o kwashiorkor (Stylianopoulos-Chryssanthi, 1999). El marasmo se trata de un cuadro clínico presente en los tres años y medio de vida del niño, aunque puede aparecer también en edades más avanzadas, por una deficiencia severa de casi todos los nutrientes, especialmente proteínas e hidratos de carbono. Se caracteriza por un gran enflaquecimiento, alcanzando la pérdida corporal hasta del 40% o más en relación con la edad. En los estados más avanzados de la enfermedad, el infante presenta la piel arrugada, de color pálida grisácea y seca (aspecto de anciano). Además, ésta puede adelgazar y lucir un aspecto brillante, hasta aparecer ulceraciones (Realpe, 2013).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012) reporta en el ámbito mundial más de 840 millones de personas afectadas por la desnutrición, 398 millones son infantes, 230 millones tienen retraso de crecimiento, 50 millones padecen desnutrición extrema, y 13 millones de bebés nacen cada año con restricción de su crecimiento. En general dicha organización divide los territorios por seis categorías para clasificar la desnutrición mundial. Calculando así, que del total de los países en el mundo, 40 presentan prevalencias de desnutrición crónica superior a 40%, entre los más afectados están 23 en África, 16 en Asia y uno en América Latina; 52 países tienen una prevalencia de desnutrición crónica inferior a 20%, estos se encuentran distribuidos geográficamente de la siguiente manera: 17 en América Latina y el Caribe, 16 en Asia, 11 en Europa y Oceanía (ENSANUT, 2012).

En los últimos 20 años, México ha cambiado drásticamente sus estadísticas de desnutrición, pasando de niveles importantes de desnutrición aguda (emaciación) y la prevalencia de baja talla en niños menores de 5 años a un índice de sobrepeso y obesidad. Esto se considera una epidemia, además de presentar un sesgo cada vez mayor entre el estado nutricional de los estados del norte de la República comparados con los del sur y zonas con una alta densidad de población indígena (SEDESOL, 2008).

La desnutrición infantil en México no es consecuencia mecánica de la escasa disponibilidad de alimentos en el hogar, ya que no es raro encontrar en una misma familia la coexistencia de preescolares desnutridos con adultos y escolares obesos; esta condición se observa cada vez con mayor frecuencia en familias de bajo ingreso (CONEVAL, 2010).

4.2 Fortificación de alimentos

Algunos de los procesos tecnológicos, como el refinado de las harinas y de los cereales en general, provocan importantes pérdidas de proteínas y vitaminas con respecto al grano entero. Por ello la fortificación es una alternativa que contribuye estratégicamente a mejorar nutricionalmente los alimentos por medio del agregado de nutrientes, tales como vitaminas, suplementos proteínicos, aminoácidos, entre otros. Por esta razón el nutriente que se requiere adicionar debe estar presente en niveles en los cuales no resulte excesivo o insignificante en la adición, de tal forma que beneficie a la mayor parte de la población en el menor tiempo posible (Figuerola *et al.*, 2001).

Por su alto consumo en México, la tortilla de maíz ha sido objeto de múltiples investigaciones para disminuir o abatir el problema de mala nutrición proteica y de

micronutrientes. Las primeras investigaciones sobre la tortilla en México se efectuaron en los años 50's por el Instituto Nacional de Nutrición, y en 1997 se estableció la adición de vitaminas y proteínas que se pierden durante la transformación del grano de maíz en harina (Figuroa *et al.*, 2001)

Figuroa *et al.* (2001) mencionan que con la adición de harina de soya desgrasada en concentraciones menores al 4% las características de calidad como flexibilidad y roabilidad de las tortillas no se vieron afectadas durante el almacenamiento, beneficio atribuido a la capacidad de absorción de agua de la harina de soya.

Cuevas *et al.* (2010) al estudiar el efecto de la adición de frijol blanco entero a las tortillas con ciertas propiedades nutricionales, fisicoquímicas y texturales, observaron que la adición del 25% de frijol aumentaron los contenidos de lisina y triptófano a 51.84 y 8.04%, respectivamente, valores muy cercanos a los recomendados por la FAO (1985), de 54.4 y 9.6% para niños en edad de 3-5 años , en comparación con el testigo, que presentó valores de lisina de 30.63% y triptófano de 3.45%, asimismo las propiedades texturales y fisicoquímicas fueron similares a las tortillas preparadas solo con maíz.

Amador (2009) evaluó la tortilla con harina de soya y amaranto, y señala una mayor aceptación del producto en una proporción de 5:5, con una mejor suavidad e incremento en el contenido proteico, comparado con las de tortilla de maíz.

El trigo es otro cultivo sumamente utilizado para la elaboración de una infinidad de alimentos. Por lo tanto, producir comestibles con este ingrediente y que incorporen

harinas de fuentes no convencionales, para la fabricación de alimento de consumo masivo respaldarían las estrategias de fortificación, ya que representan una buena instancia para hacer llegar a la población productos de alto valor nutritivo y de mejores propiedades de calidad (Sudha *et al.*, 2007).

Macías *et al.* (2013), desarrollaron galletas de calidad nutricional mejorada para escolares, con mezclas de harinas de trigo, algarroba (*Prosopis alba*) y avena (*Avena sativa*). Determinaron la composición química proximal y evaluación sensorial, y encontraron que a una sustitución de hasta 20% mejoró la calidad proteica, incrementó el aporte de fibra, minerales y mantuvo una buena aceptación sensorial por parte de los consumidores.

En productos de panificación Güemes *et al.* (2008), observaron un incremento en el volumen de pan blanco y pan dulce al adicionar 1 a 2% de aislado proteico de *Lupinus mutabilis* y un aumento en la vida de anaquel del pan al adicionar 0.5 y 1% de este aislado.

4. 3 Cultivo de *Jatropha curcas*

El género *Jatropha* pertenece a la familia Euphorbiaceae, con 175 especies en el mundo, 45 de ellas se encuentran en México y 77% son endémicas (Rodríguez, 2009). Su nombre deriva del griego (*latros* = médico; *trophe* = alimento), que implica usos medicinales y alimenticios (Makkar *et al.*, 1997). Dehgan y Webster (1979) citaron que *J. curcas* “sin duda pertenece a la flora de México y probablemente al norte de Centroamérica, desde antes de la llegada de Cortes”. En México se distribuye de forma silvestre en Morelos, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Yucatán, Hidalgo, Veracruz,

Michoacán, Sinaloa, Sonora y Quintana Roo (Martínez *et al* 2010^a). En otros países es utilizada como cerco vivo, en la elaboración artesanal de jabones y como combustible doméstico (Heller, 1996).

La especie recibe diferentes nombres comunes acorde al país, en Cuba, piñón botija, piñón de cercas, piñón purgante; en Perú piñol; en Costa Rica tempate y coquillo; en países angloparlantes physicnut; en España coquillo; en Honduras cotoncillo; en Guatemala y Nicaragua piñón y también tempate en este último país. Otros nombres son: higo de infierno en Bolivia; purga de fraile en Colombia (Jaime *et al.*, 2012).

En México, los nombres comunes dependen de los grupos indígenas del país. En la legua náhuatl se le llama ashcuahuitl (Hidalgo) y ashté (Veracruz); cak siil en Huave, yaga-be-pale en Zapoteco (Oaxaca); cuipi en Tzotzil (Chiapas); kxakal-che en Maya (Yucatán); que-ca en Chontal (Yucatán); scu-luú y xuta en Totonaco (Veracruz y Puebla y (Oaxaca) (Martínez *et al.*, 2010^a).

4.3.1 Producción de *Jatropha curcas*

El cultivo de *J. curcas* se encuentra en las primeras etapas a nivel industrial, con una superficie cultivada en el ámbito mundial de 1 191,625 ha en 2012, de las cuales 72% corresponde a Asia, con una área de 860,000 ha, seguido de África con 331,000 ha, ubicadas en Etiopía (20, 000), Ghana (13, 000), Burkina Faso (10, 000) y Madagascar (8, 300). América Latina tiene aproximadamente 95,300 ha que corresponden al 5%, principalmente en Brasil (Wahl *et al.*, 2012).

Zamarripa (2008) reporta que en México existen alrededor de 2.6 millones de hectáreas con alto potencial para el cultivo de *Jatropha*, con un altitud de 0 a 1000 m, una temperatura entre 18 y 28 °C y una precipitación pluvial entre 600 y 1200 mm anuales. Se registra que los estados de la República Mexicana que demuestran mayor superficie óptima para el cultivo de piñón son Sinaloa con 557,641 ha, Tamaulipas con 317,690 ha, Guerrero con 282,158 ha, Chiapas con 230,273 ha y Michoacán con 197,288 ha.

4.3.2 Composición química y usos

La composición química de la semilla varia con la procedencia y se han identificado ecotipos tóxicos por contener ésteres de forbol mayores a 0.11 mg g⁻¹, además de saponinas, lectinas, fitatos, inhibidores de tripsina (Martínez *et al.*, 2010^a; Makkar *et al.*, 1997), el consumo accidental de esta semilla puede provocar alteraciones en el tracto gastrointestinal, que se manifiestan en malestar, vómitos, diarrea, mareo y gran sudoración y puede incluso sobrevenir la muerte. También existen ecotipos no tóxicos con contenidos de ésteres de forbol < 0.11 mg g⁻¹, al igual que otros antinutrientes, que son eliminados con tratamientos térmicos por lo que su empleo en la alimentación humana y/o animal es posible (Martínez *et al.*, 2010^a). En México se encuentran tanto genotipos del tipo tóxicos como no tóxicos.

La semilla presenta entre 42 y 59% de aceite y entre 22 y 32% de proteína. Porcentajes similares han sido reportados para muestras evaluadas de diferentes estados de la república mexicana (Martínez *et al.*, 2006 y Martínez *et al.*, 2010^a). En cuanto al perfil de aminoácidos cubre los requerimientos reportados por la Organización

de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO/WHO, 1998) principalmente en metionina, cisteína y triptófano, excepto lisina que sería el aminoácido limitante.

Los ácidos grasos saturados presentes en el aceite *J. curcas* es de 20.8 a 22.7%, mientras que los ácidos grasos insaturados van de 77.2 a 79.6%, destacando el ácido oleico y linoleico con valores superiores a 40% cada uno, seguido del ácido palmítico (14.54%) y ácido esteárico (6.30%) (Berchmans y Hirata, 2008).

La harina integral de semillas de *J. curcas* “tóxicas” y “no tóxicas” ha demostrado tener niveles altos de proteína disponible y aceite; además, la harina presenta una digestibilidad de 77 a 78%, y al someterla a un tratamiento térmico incrementa hasta 88%, esto asociado a la reducción parcial de la actividad de los inhibidores de tripsina y lectinas (Martínez *et al.*, 2006).

En África la planta es utilizada ampliamente como cerca viva en los campos y zonas áridas para el control de la erosión. En México en algunas regiones es utilizada de forma similar (Toral *et al.*, 2008). Asimismo las semillas son usadas como purgante, contra enfermedades de la piel y para aliviar dolores causados por el reumatismo; en Mali las hojas se han empleado para el tratamiento de la malaria; en el sur de Sudan tanto las semillas como el fruto son usados como abortivo, asimismo el látex tiene propiedades antibióticas contra infecciones causadas por ciertos hongos en la boca (Martínez *et al.*, 2004). En la actualidad el aceite es utilizado en la producción de biodiesel con la finalidad de sustituir el diésel obtenido del petróleo. La pasta obtenida del prensado de la semilla no tóxica, es una buena alternativa como alimento para

animales vacunos, cerdos y aves, pues contiene altos niveles de proteína (55 a 58%), (Martínez *et al.*, 2010^a). La pasta residual del genotipo toxico puede emplearse como abono orgánico, pues tiene un alto contenido de nitrógeno (3 a 4%), similar al del estiércol de gallina (Jaime *et al.*, 2012).

4.4 Cultivo de Trigo

4.4.1 Producción de trigo

La importancia del trigo radica principalmente en su alto valor energético que proporciona a la dieta de los seres humanos, además de un alto contenido de proteínas en comparación con el arroz y el maíz. A estas ventajas nutritivas se añaden sus características de procesamiento únicas entre los cereales, atribuyéndole así el uso como materia prima para elaborar una gran diversidad de alimentos procesados (Peña *et al.*, 2007). Esto lo convierte en uno de los cultivos con mayor superficie destinada a la producción mundial. Además de crecer en una gran diversidad de latitudes, climas y suelos, presentando mejor desarrollo y adaptabilidad en zonas templadas. (Kato *et al.*, 2009).

En el mundo se siembra trigo en aproximadamente 75 países y 121 participan en el mercado internacional, se estima una producción mundial de 725 millones de toneladas, destacando 6 principales países productores como: China, EUA, India, Rusia, Turquía y Australia. (FAO, 2014).

La estimación de la producción de 2014 para Europa se sitúa en 247,8 millones de toneladas, alrededor de 22,4 millones de toneladas (10%), superior a la de 2013. Las

mayores cosechas en la Federación de Rusia y Ucrania son responsables del incremento, registrando ambos países rendimientos excelentes como consecuencia de condiciones meteorológicas generalmente favorables. En América del Norte, se estima que la producción ha disminuido en 14%. Los rendimientos más bajos estimados contrarrestan con creces el aumento en la superficie plantada en los Estados Unidos de América, resultando en una disminución de 55 millones de toneladas.

El Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera, señala que en México se cultiva trigo en más de 20 estados de la república Mexicana, con una producción total en el periodo 2002 a 2012 de 37 millones de toneladas, concentrándose cerca de 85% en los estados de Sonora (35%), Guanajuato (17.5%), Baja California (11.5%), Sinaloa (9.2%), Michoacán (6.4%), y Jalisco (4.4%), (SIAP, 2012).

4.4.2 Composición química del grano

La estructura del trigo está formada por el salvado, que contiene numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como un alto contenido en proteína. La capa de aleurona contiene concentraciones altas de diversas sustancias nutritivas e importantes, por ello resulta interesante conseguir su aprovechamiento (Antoine *et al.*, 2002). El germen (embrión) es la parte donde se inicia el origen de una nueva planta, y por ende es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E, y contiene proteínas (25%), lípidos (16%) y minerales (5%). El endospermo está formado principalmente por almidón, proteínas y presenta un bajo contenido de vitaminas y minerales.

Las proteínas son uno de los componentes más importantes presente en el trigo, su contenido varía dependiendo de factores genéticos y agentes asociados con el cultivo. Las gliadinas y gluteninas comprenden las proteínas de almacenamiento, las cuales forman una red tridimensional llamado gluten. Las gliadinas pertenecen al grupo de las prolaminas con un peso molecular medio 40.000 kDa. Son de cadena simple y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión por ser pegajosas y suaves, a la que se le adhieren las demás materias de la masa, así mismo, permiten la retención del dióxido de carbono durante la fermentación y poder hacer crecer la masa de pan (Martínez *et al.*, 2012). Las gluteninas pertenecen al grupo de las glutelinas, con alto peso molecular que oscila entre unos 100.000 kDa y cadenas ramificadas. Físicamente, la proteína es elástica, pero no cohesiva, le confiere fuerza y estabilidad a la estructura del pan (Wieser, 2007).

Las gliadinas son responsables de la Cohesividad de la masa, mientras que las gluteninas proveen la elasticidad, pero es necesario que exista un equilibrio entre ambas (Martínez *et al.*, 2012); para que el gluten sea estable y se forme, mediante enlaces de disulfuro, hidrofóbicos e iónicos y puentes de hidrógeno. El gluten está formado por 90% de proteínas, 8% de lípidos y 2% de carbohidratos (Wieser, 2007). Los minerales en el grano de trigo están en pequeñas cantidades y es aún menor su presencia en el endospermo (inferior al 1%). Los componentes mayoritarios de esta fracción son los fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. También se encuentran cantidades significativas de hierro, magnesio, zinc y cobre (Kent, 1987). Sin embargo, el trigo sólo, al igual que el resto de los cereales, no es capaz de proveer todos los aminoácidos esenciales necesarios para un apropiado desarrollo, ya que es

deficiente en lisina, lo que determina una baja calidad proteínica. Sin embargo, su contenido de aminoácidos azufrados es satisfactorio (Shewry, 2007).

La Asociación Americana de Química de Cereales por sus siglas en Inglés (AACCC), clasifica las variedades de trigo de acuerdo a su Calidad de las harinas y analiza: contenido de proteína, gluten húmedo y seco. Calidad reológica de las masas: considerada una de las pruebas más importantes para determinar los usos industriales de las harinas y cuantifica la absorción de agua, tiempo de amasado, fuerza, elasticidad, tenacidad, mediante varios equipos como el Alveógrafo y Farinógrafo (Villaseñor y Espitia, 2000).

En México los trigos se clasifican en cinco grupos de acuerdo al tipo de gluten y contenido de proteínas (“gliadinas y glutelinas”) y a sus usos industriales (Cuadro 1). Esta clasificación es funcional y permite comercializar la producción nacional de acuerdo a los diferentes tipos de trigo que necesita el molinero para la preparación de sus mezclas en la fabricación de pan, galletas, pasteles y tortillas (Salazar, 2000).

Cuadro 1. Clasificación de los trigos en base al tipo y características del gluten incluyendo los usos industriales al que se destinan.

Grupo	Fuerza y tipo de gluten	Tipo de industria	Producto
1	Gluten fuerte y extensible 300×10^{-4} J	Panificación mecanizada	Pan de molde, panes leudados (masas fermentadas) de molde para "hot dog" y "hamburguesas"
2	Gluten fuerte y medio extensible 200 a 300×10^{-4} J	Proceso manual y mecanizado	Pan dulce de fermentación, blanco, hojaldra, panes planos galleta salada, tortilla de harina
3	Gluten débil y endospermo suave $< 200 \times 10^{-4}$ J	Manual poca tolerancia al sobre mezclado	Galletas y repostería
4	Gluten tenaz poco extensible	Poca tolerancia al sobre mezclado	Pobre calidad panadera
5	Medio fuerte tenaz, cristalino con contenido de carotenoides	Resistencia al amasado	Espagueti, macarrones, fideos y tortillas de harina

Fuente: Salazar, 2000.

4.5 Cultivo de maíz

4.5.1 Producción y usos

A nivel mundial el maíz ocupa el segundo lugar en producción después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total (FAO, 2014).

El consumo per cápita de maíz en México es aproximadamente 10 veces mayor que el de Estados Unidos de América (Fernández *et al.*, 2013). Económicamente el maíz se siembra en más de 8 millones de hectáreas, de las cuales 39% ocupan la

superficie agrícola nacional y 63% la superficie sembrada con granos y oleaginosas, contribuyendo así con 8% del producto interno de la agricultura (Jiménez *et al.*, 2012).

Se estima que la Producción Mundial de Maíz se ha elevado a 1, 020 millones de toneladas, siendo los principalmente productores: Estados Unidos (336), Brasil (72) y Unión Europea con 120 millones de toneladas respectivamente; mientras que México produce alrededor 24, millones de toneladas anuales. (FAO, 2014).

En México los principales estados productores de maíz blanco son: Sinaloa, que aporta 23%, Jalisco 13%, Michoacán, Chiapas y Guerrero que contribuyen con el 7%, que en total suma 57% de la producción. En cuanto a la producción de maíz amarillo destacan cuatro estados como Chihuahua (35%), seguido de Jalisco y Tamaulipas (25%), Chiapas(13%), contribuyendo así con el 94% de la producción total (SIAP, 2012).

Algunas investigaciones realizadas acerca del uso del maíz (Paliwal *et al.*, 2001; Paredes *et al.*, 2009) señalan que desde la época precolombina hasta la actualidad, el maíz es el alimento principal de la población mexicana y parte importante en la dieta de muchos países de América. Simplemente en México el grano entero y procesado es utilizado en la alimentación humana para obtener gran cantidad de productos, como pozole, pinole, atole y nixtamalizado en diversas formas para elaborar masa, tamales y tortillas, esta última se utiliza para la preparación de tacos, tostadas, enchiladas; además, el grano sirve como sustrato para la producción del hongo comestible (huitlacoche).

Algunos de los productos mencionados anteriormente son ahora industrializados en mayor o menor escala y su variedad se pueden apreciar en los estantes de los supermercados, donde se encuentra más de 1,000 productos derivados total o parcialmente del maíz (Dowswell *et al.*, 1996), incluyendo productos como tortillas, harinas de maíz, varios bocadillos, cereales para el desayuno, espesantes, pastas, jarabes, endulzantes, aceite de maíz, bebidas sin alcohol, cerveza y whisky. El proceso de molienda húmeda se usa para la producción de almidón puro, endulzantes, dextrosa, fructosa, glucosa y jarabes, incluyendo jarabe de fructosa con proteínas, almidón industrial, fibras, etanol y aceite de maíz a partir del germen.

Sin duda la tortilla de maíz es el alimento de mayor producción y consumo en México, con una producción anual de 12 millones de toneladas y 127 kg de consumo per cápita (Arámbula *et al.*, 2004).

4.5.2 Composición química

El grano de maíz está compuesto principalmente de cuatro partes anatómicas: el pericarpio, germen, endospermo y el pedicelo, por lo general el color del grano es blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro o rojo (Serna-Saldívar, 1996), su composición química y por ende su valor nutritivo, dependen del genotipo, variedad, ambiente y las condiciones de siembra (Paredes *et al.*, 2009).

Químicamente, las diferentes partes anatómicas del grano difieren en su composición. El pericarpio contiene aproximadamente 86.7% de fibra cruda, constituida por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0.1%). El endospermo, en cambio,

presenta un nivel elevado de almidón (86.4%), aproximadamente 9.4% de proteína y un contenido de lípidos relativamente bajo. El germen se caracteriza por su elevado contenido de lípidos (33% en promedio), un nivel de proteína alrededor de 20% y minerales (Paredes *et al.*, 2009). El componente principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 73% del peso del grano, conteniendo otros carbohidratos como glucosa, sacarosa y fructosa en cantidades que van de 1 a 3% del grano, según la variedad.

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia, principalmente se encuentran en la capa de aleurona. Pueden variar entre 8 y 11% del peso del grano, según la variedad de maíz (Amaya, 2003). Las proteínas del grano de maíz, zeínas, han sido ampliamente estudiadas, de dónde se ha concluido que hay al menos 5 fracciones proteicas (α , β , δ y zeína, principalmente), las cuales, cabe mencionar que desde el punto de vista de balance de aminoácidos, son muy bajas en lisina y triptófano (Graham *et al.*, 1990). Las prolaminas (zeínas) se encuentran principalmente en el endospermo, las cuales representan 60% de la proteína total, seguido de las glutelinas (26%), albúminas y globulinas (6%). Las zeínas se consideran proteínas solubles en una mezcla de agua y alcohol con un agente reductor (Paredes *et al.*, 2009). Como se mencionó anteriormente, desde el punto de vista nutricional las prolaminas son las proteínas más pobres, debido a que carecen de aminoácidos esenciales, Cuadro 2, según datos reportados por el patrón (FAO/WHO, 1998), para niños menores de 2 años. Sin embargo son ricas en aminoácidos no esenciales como prolina (9.1%), glicina (4.1%), ácido glutámico (24.7%) y aspártico (6.7%) (Shuryo y Modler, 2000).

Cuadro 2. Composición de aminoácidos esenciales presente en maíz (g/100 g de proteína).

Aminoácidos	Maíz	Patrón ¹	FAO ²	WHO ³
Isoleucina	3.8	4.6	2.8	1.3
Leucina	13.6	9.3	6.6	1.9
Lisina	2.6	6.6	5.8	1.6
Metionina + cisteína	1.8	4.2	2.5	1.7
Treonina	3.6	4.3	3.4	0.9
Valina	5.3	5.5	3.5	1.3
Triptófano	0.5	NR	NR	NR
Fenilalanina +tirosina	9.5	7.2	6.3	1.9

Fuente: Shuryo y Modler, 2000. Recomendaciones de la FAO-WHO: 1, niños < 2 años; 2, niños de 2-5 años; 3, adultos.

Por lo anterior es necesario mejorar las dietas, complementando con pequeñas cantidades de leguminosas (soya, frijol, etc.) o productos del reino animal (leche, carne, huevo) (Figuroa *et al.*, 2001). Con ello además de mejorar la calidad proteica, también se mejora significativamente las cantidades y la biodisponibilidad de calcio, hierro y otros minerales (Serna-Saldívar, 1996). Es importante mencionar que el balance de aminoácidos desempeña un papel importante en la calidad de las proteínas, ya que la deficiencia o el exceso de alguno de ellos, puede traer como consecuencia una reducción en el valor nutritivo del alimento (Serna-Saldívar, 1996).

4.6 Reología y textura de alimentos

La textura es un factor de aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor. Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos

estructurales del material, se perciben por el sentido del tacto, se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza, se miden objetivamente como una función de masa, tiempo y velocidad (Rodríguez *et al.*, 2005). Una propiedad importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico. La reología de alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y terminados en la industria de alimentos. Tiene aplicaciones en los campos de aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos (Rodríguez *et al.*, 2005).

La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación en alimentos (mezclado, flujo de materiales, calentamiento, enfriamiento), en la determinación de la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos intermedios, en pruebas de tiempo de vida útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales (Rodríguez *et al.*, 2005).

4.6.1 Propiedades visco-elásticas y amasado de harina de trigo

La masa de harina de trigo se puede considerar como un material compuesto, en el cual el gluten forma una matriz continua y los gránulos de almidón actúan como partículas de relleno dentro de la matriz. Sus propiedades reológicas tienen como funcionalidad estudiar las propiedades físicas del gluten hidratado, formado después del amasado, por ende la cohesividad y viscosidad de la masa son propiedades reológicas que le confieren la fuerza y extensibilidad a la misma y consecuentemente determinan

la calidad del producto final a obtener como panes, galletas, tortillas y pasteles (Wieser, 2007).

Las propiedades viscoelásticas del gluten están determinadas principalmente por gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM, GBPM) () y gliadinas (Martínez *et al.*, 2010^b). Dentro de las pruebas reológicas utilizadas para evaluar la calidad de panificación de las harinas de trigo son los métodos como el Alveógrafo que provee parámetros tales como la tenacidad (P), extensibilidad (L) y el coeficiente de tenacidad/extensibilidad (P/L), fuerza (W), que provienen del ensayo a hidratación constante de la masa. Estos dos últimos valores conocidos en la industria como W y P/L, permiten clasificar a los trigos como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de las harinas de acuerdo a su fuerza y relación tenacidad/extensibilidad

Grupo	W x 10 ⁻⁴	P/L
Gluten fuerte	>300	<0.8 Fuerte extensible
Gluten medios fuertes	200-300	<0.8 y > 1.2 Balanceado
Gluten suave	<200	> 1.2 Tenaz

También se utiliza el ensayo desarrollado en el farinógrafo de Brabender en el que se determina porcentaje de absorción de agua (AA%), tiempo de desarrollo (TD) y tolerancia al amasado y estabilidad.

4.6.2 Análisis de perfil de textura de masas y punción en tortillas

La masa de maíz es una red de moléculas de almidón disueltas y gránulos de almidones dispersos, parcialmente gelatinizados, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos. La masa de tortilla de maíz es ejemplo de una masa que tiene propiedades cohesivas, sin gluten y sin propiedades elásticas parecidas a la masa de trigo. Este tipo de material alcanza su máxima Cohesividad cuando los espacios entre las partículas se llenan de agua. La masa de tortilla de maíz tienen una textura apropiada cuando es suficientemente pegajosas para adherirse levemente a los rodillos laminadores y separarse adecuadamente; sin embargo, se presentan dos problemas en el proceso, la sobre-cocción del maíz produciendo una masa pegajosa que se adhiere fuertemente, y la falta de cocción del maíz que genera una masa no cohesiva para la formación de tortillas con textura inadecuada (Bello *et al.*, 2002). Por consiguiente una masa óptima es la que tiene fuerzas de adhesión y cohesión balanceadas (Rodríguez *et al.*, 2005). Sin embargo, se ha considerado que las tortillas de buena calidad se obtienen a partir de masas cuya dureza se encuentra entre 8.7×10^{-4} a 1×10^{-5} N/m² y adhesividad entre 0.01 y 0.03 N-m (Rangel *et al.*, 2004).

5. LITERATURA CITADA

Amador A., P. 2009. Desarrollo y evaluación de una tortilla de maíz con dos concentraciones de harina de soya (*Glicine max*) y harina de amaranto (*Amarantus hypochondriacus*). Tesis de Licenciatura. Zamorano, Honduras, 14.

- Amaya G., C., A. y G. M. Alanís G. 2009.** Efectos de la Fortificación de tortillas en el desarrollo cerebral de ratas de laboratorio. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL 12: 305-312.
- Amaya G., C., A. 2003.** Efectos de la Fortificación y Enriquecimiento de Tortillas regulares de maíz de Alta calidad Proteica en el Desarrollo Fisiológico, Cerebral y Desempeño en el Aprendizaje de Ratas de Laboratorio. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Monterrey, N.L., México.
- Antoine C., V. Lullien P., J. Abecassis, X. Rouau. 2002.** Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences des Aliments* 22: 545-556.
- Arámbula V., G. J. A. Méndez A. J. González H. E. Gutiérrez Á. y E. Moreno M. 2004.** Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Archivos latinoamericanos*, 5: 216-22.
- Bello P., L., A., P. Osorio D., E. Agama A., C. Núñez S. y O. Paredes L. 2002.** Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz. *Agrociencia* 36:319-328.
- Berchmans H., J., and S. Hirata. 2008.** Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology* 99:1716–1721 pp.
- CONEVAL, 2010. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social** Dimensiones de la seguridad alimentaria: Evaluación Estratégica de nutrición y Abasto, Mexico, D.F pp. 8-20.
- Cuevas M., D., C. Moreno R., E. Martínez M., A. Méndez A. 2010.** Nutrition and texture evaluation of maize white common bean nixtamalized tortillas. *Interciencia* 35: 828-832.

- Dehgan B., and L. Webster G. 1979.** Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). University of California Publications in Botany, Vol. 74.
- Dowswell C., D., L. Paliwal R., and P. Cantrell R. 1996.** Maize in the third world. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- ENSANUT, 2012.** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Estado de nutrición, anemia seguridad alimentaria en la población Mexicana. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, México.
- FAO/WHO. 1998.** Protein quality evaluation In Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 23 Farrel R.E. RNA Methodologies: A laboratory guide for isolation and characterization. Academic Press. 531p.
- FAO, 2014.** Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. No. 25, Roma, Italia 5-11 pp. Disponible en <http://www.fao.org/gIEWS>.
- FAO, 2012.** Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. El crecimiento económico es necesario pero no suficiente para acelerar la reducción del hambre y la malnutrición. Roma 5-65 pp.
- FAO, 2000.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El Derecho a la Alimentación en la Teoría y la Práctica. Roma, Italia.
- Fernández S., R., L. A. Morales C., A. Galvez M. 2013.** Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. Revista Fitotecnia. Mexicana 36: 275- 283.
- Figuroa C., J., D., Ma. G. Acero G., N. L. Vasco M., A. Lozano G., L. M. Flores A., J. Gonzáles H. 2001.** Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 51: 293-302.

- Graham G., G., J. Lembecke, and E. Morales. 1990.** Quality protein maize as the solesource of dietary protein and fat for rapidly growing young children. *Pediatrics*. 85: 85-91.
- Güemes V., N., R. J. Peña B., C. Jiménez M., and G. Dávila. 2008.** Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivates and effect of these derivates on bread quality and acceptance. *Journal of Science of Food and Agriculture* 88:1135-1143.
- Hall L., J., A., P. Ochoa M., J. C. Borbón R. y L. R. Monreal O. 2013.** Prevalencia de porcentaje de grasa corporal, obesidad abdominal y estado nutricional en una escuela primaria de Mexicali Baja California México. *International Journal Morphology* 31: 1269-1275.
- Heller J. (1996).** Physic nut; *Jatropha curcas* L. IPGRI IPK Italy Germany © International Plant Genetic Resources Institute, p. 24-29.
- Jaime S., E., C. M. Durán A., N. Vázquez B., O. G. Villegas T. 2012.** Importancia de la nutrición orgánica en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas* L.). *Investigación Agropecuaria* 9: 125-138.
- Jiménez J., J., A., G. Arámbula V., E. Cruz L., M. A. Aparicio T. 2012.** Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano *Universidad de Ciencia y Trópico Húmedo*, 28:145-152.
- Kato T., A., C., M. Mapes L., A. Mera J., A. Serratos R. 2009.** Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. *Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad México, D.F,* 116 p.
- Kent L., N. 1987.** Introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura. *Tecnología de los cereales*. Ed. Acribia, pp 17- 26.
- Macías S., J. Binaghi M., A. Zuleta., P. Ronayne F., K Costa, and S. Generoso. 2013.** Desarrollo de galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina

de algarroba (*Prosopis alba*) y avena para planes sociales. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 4: 170-188.

Makkar H., P., S., K. Becker., F. Sporer., M. Wink. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 3152-3127.

Martínez C., E., E. Espitia R., E. H. Villaseñor M., R. J. Peña B. 2012. Contribución de los Loci *Glu- Bi*, *Glu- Di* y *Glu-B3* a la calidad de la masa del trigo harinero. Revista Fitotecnia Mexicana, 35: 135-142.

Martínez C., E., E. Espitia R, H. E. Villaseñor M., J. D I. Molina G., I. Benítez R., A. Santacruz V., R. J. Peña B. 2010^a. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes. II. Relación con combinaciones de los loci *glu-1* y *glu-3*. Agrociencia 44: 631-641.

Martínez H., J., A. L. Martínez A., H. Makkar., G. Francis., K Becker. 2010^b. Agroclimatic Conditions, Chemical and Nutritional Characterization of Different Provenances of *Jatropha Curcas* L. from Mexico. European Journal of Scientific Research 39: 396-407.

Martinez H., J., P. Siddhuraju, G. Francis., G. Davila O., and K. Becker. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effect of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. Food Chemistry 96: 80-89.

Martínez H., J. 2004. *Jatropha*. Revista Hypatia, No. 12, Morelos, México. Disponible en: <http://hypatia.morelos.gob.mx>.

ONU, (2008). Organización de las Naciones Unidas. Período de sesiones anual de la Junta Ejecutiva Roma, 9-12 pp. Disponible en (<http://www.wfp.org/eb>).

Paliwal, R. L., G. Granados, R. Lafitte H., D. Violic A. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. No. 28, FAO, Roma, 376 p.

- Paredes L., O., F. Guevara L. y L. A. Bello P. 2009.** La Nixtamalización. Ciencias. 92: 60-70.
- Peña B., R., J., P. Pérez H., E. Villaseñor M., M. M. Gómez V., A. Mendoza M., R. Monter G. 2007.** Calidad de cosecha del trigo en México, Ciclo otoño-invierno 2005-2006. Publicación Especial del CONASIST. México D.F., 24 p.
- Ramos E., J., M. J. Pino M. 2001.** Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. Journal of the Mexican Chemical Society 45: 66-76.
- Rangel M., E. A. Muños O., G. Vázquez C., J. Cuevas S., C. Merino y S. Miranda C. 2004.** Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. Agrociencia 38: 53-61.
- Realpe M., A., M. 2013.** Desnutrición Severa Tipo Kwashiorkor. Revista Gastrohnutp 15: 20-26.
- Rodríguez A., M., K. Vega F., C. Gante y R. Jiménez. 2009.** Distribución del genero *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el estado de Puebla, México. Polibotánica 28: 37-48.
- Rodríguez S., E., A. Fernández Q., A. Ayala A. 2005.** Reología y textura de masa: aplicaciones en trigo y maíz. Ingeniería e Investigación, 57: 72-78.
- Salazar Z., A. 2000.** Calidad industrial del trigo para su comercialización. En: Villaseñor, M H E y Espitia R E (eds). El Trigo de Temporal en México. SAGAR, INIFAP. Estado de México pp 192-207.
- SEDESOL, 2008.** Secretaría de Desarrollo Social. Nutrición y Pobreza. Política Pública Basada en Evidencia, 188 p.
- Serna, S. S. O. 1996.** Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. México, D.F: A.G.T pp 4-6, 299-300, 420-421, 474-478

- Shewry P., R. 2007.** Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science*, 45: 237-250
- Shuryo N., and H. Modler W. 2000.** Food Proteins. Processing applications. (Chung-Okkyung K.) United States of America: WILEY-VCH, 243-295.
- SIAP, 2012.** Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <http://siap.gob.mx/index>.
- Stylianopoulos C. 1999.** Efectos de la fortificación y enriquecimientos de tortillas de maíz en el crecimiento y desarrollo cerebral de ratas durante dos generaciones. *Transferencia* 12: 16-19.
- Sudha M., L., K., R. Srivastava, A. Vetrmani and K. Leelavathi. 2007.** Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Food Engineering* 80: 922-930.
- Toral C., O., M. Iglesias J., S. Montes de Oca, A. Sotolongo J. 2008.** *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes* 31: 191.
- Vázquez R., J., A. y C. A. Amaya G. 2010.** Evaluación sensorial de tortillas de maíz fortificadas con harina de amaranto, frijol y nopal. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto, México, pp. 111-117
- Villaseñor M., H., E. y E. Espitia R. 2000.** El trigo de temporal en México. Campo Experimental Valle de México (INIFAP), Chapingo Estado de México, SAGARPA, CIRCE. Libro técnico No. 1 México 313 p.
- Wahl N., T. Hildebrandt, C. Moser, F. Lüdeke F., K. Averdunk, R. Bailis, K. Barua, R. Burritt, J. Groeneveld, A. M. Klein, M. Kügemann, D. Walmsley, S. Schaltegger, and T. Zelt. 2012.** Insights into *Jatropha* Projects Worldwide. Eds. Leuphana, University Lüneburg, Germany pp 33-38.

Wieser H (2007). Chemistry of gluten proteins. Food Microbiology 24: 115-119.

Zamarripa C., A., J. Martínez H., R. De La Piedra C., A. Olivera De Los S. 2008.

Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L., en el trópico de México. Folleto Técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 30 p.

**CHAPTER I. RHEOLOGICAL, CHEMICAL AND SENSORIAL PROPERTIES OF
MAIZE TORTILLAS FORTIFIED WITH NON-TOXIC *Jatropha curcas* L. FLOUR**

**Elizabeth Argüello-García¹, Leobigildo Córdova-Téllez^{1*}, Jorge Martínez-Herrera²,
Odilón Sánchez-Sánchez³, Tarsicio Corona-Torres¹**

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Código postal 56230, Texcoco Edo. de México, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Km. 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Código postal 86400, Tabasco.

³Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana, Ex Hacienda Lucas Martín, Privada de Araucarias s/n, Col. Periodistas, 91019 Xalapa de Enríquez, Veracruz.

*Corresponding author: lcordova@colpos.mx

ABSTRACT

Hunger and malnutrition still affecting part of the Mexican population, for whom the tortilla is a staple food. However, maize tortillas are high in calories but deficient in proteins, therefore studies have been conducted to fortify them with protein-rich flours. This study examines the physicochemical and rheological characteristics of dough and maize tortillas fortified with non-toxic *Jatropha curcas* L. flour. Fortified maize doughs were prepared with 0, 5, 10, 15 and 20% *J. curcas* non-toxic flour, which contains 55% protein. Tortillas were made and their chemical profile and tortilla quality were quantified and subjected to sensorial analysis. Rheological characteristics of dough were slightly modified but the protein in the tortillas increased 6.20% with 20% *J. curcas* flour. They did no change in color, were soft, and consumer acceptance was not affected. It is concluded that non-toxic *Jatropha* flour is an excellent option for increasing the protein value of maize tortillas.

Keywords: *Jatropha curcas* L., rheology, tortillas, doughs, sensorial analysis.

INTRODUCCIÓN

The Food and Agriculture Organization of the United Nations¹ declares that “all persons have the right to sufficient healthy nutritious food and not suffer hunger”. Ingesting food that is not sufficient in quantity or quality causes malnutrition, which is associated with physiological disorders. Mexico is a country where malnutrition or undernutrition exists,² and therefore, alternatives for reducing this condition should be pursued. One alternative is fortifying food, which consists of supplementing it with the nutrients it lacks (vitamins, proteins and minerals).³

Approximately 95 million inhabitants of Mexico consume 127 kg maize tortillas/year *per capita*.^{4,5} Unfortunately, the maize protein is deficient in lysine and tryptophan, as well as in micronutrients such as iron, zinc and vitamins,⁵ which are essential for human nutrition. Poverty and high population growth rate have led to unsuitable diets and more dependence on the tortilla. For this reason, flours from some crops have been incorporated to fortify it. The flour obtained from the non-toxic ecotype (absence of phorbol esters) *Jatropha curcas* L. seed could be an excellent alternative.

Today, *J. curcas* seed is used to produce biofuels from its oil; however, the residual cake contains more than 50% protein of good quality and can be used in human nutrition.⁶ *In vitro* digestibility of its defatted flour is 78%, which increases up to 88% after a heating process.⁷

No reports in the literature were found on the uses of *J. curcas* flour as supplement to flours made from wheat and maize grains, which are deficient in essential amino acids.⁵ However, defatted soybean (*Glacine max* L.) flour has been used in concentrations of 4

and 5% to improve nutritive and sensorial quality of tortillas.³ Cuevas *et al.*⁸ examined the addition of white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on certain nutritional, physicochemical and textural properties of tortillas, while Amador⁹ tested the effect of adding soybean and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) flour to improve tortilla quality and protein content. In this study, the rheological, chemical and sensorial properties of flour made from nixtamalized maize with the addition of defatted non-toxic *J. curcas* flour and the tortillas made with those flours mixtures were analyzed.

MATERIALS AND METHODS

Flours

Jatropha flour was made from seeds of an edible non-toxic ecotype produced in the state of Veracruz, México. The seed coat was manually removed, ground with a Ciclotec mill and sifted through a No. 80 mesh in order to obtain even sized flour particles. The cake was defatted immediately with hexane in a Soxhlet extractor for 16 h at 68 °C to remove the oil. The maize flour used was from the commercial Maseca™ brand, made with nixtamalized maize.

Formulation of fortified treatments

Maize flour and *J. curcas* flour were mixed in the following portions: 100:0 (T-0, control treatment), 95:5 (T-5), 90:10 (T-10), 85:15 (T-15) and 80:20 (T-20).

Response variables

Proximal chemical analysis

Percentages of protein, lipids, ash, moisture and fiber were quantified in triplicate in *J. curcas* flour (whole and defatted), maize flour and tortillas made from the treatment formulations following the norms of the AOAC methodology.¹⁰

Rheological properties

Dough texture profile: Texture of doughs (mixture of flours with distilled water) resulting from the treatment formulations was measured with a Brookfield CT3 25 K texture analyzer following the protocol described by Martínez *et al.*¹¹ The accessories used were a bar with a ½ inch sphere tip; test conditions were 25 kg load cell, distance 10 mm s⁻¹, test rate 1 mm s⁻¹, and pre-test rate 2 mm s⁻¹.

Tortilla quality

Flour treatments formulations were mixed with distilled water until a soft dough was obtained for making tortillas approximately 12 cm in diameter with a manual tortilla press (Lenin, Mexico). The tortillas were cooked on a 280 °C griddle for 15 s on one side (to form the thin layer), 25 s on the other side (to form the thick layer), and flipped once more to inflate. They were cooled to 27 °C and stored in Ziploc™ plastic bags as described by Arámbula *et al.*¹² to evaluate the following characteristics:

Puncture or perforation test on tortillas: This test was performed in triplicate with a Brookfield CT3 25 K texture analyzer, following the method proposed by Bejosano *et*

*al.*¹³ The accessory was a bar with a stainless steel ½ inch sphere tip. Test conditions were 50 mm distance from the puncture base. The tortilla was placed between two perforated plates, leaving an area 40 mm in diameter and in the middle where the bar that made contact. The force applied was that which was necessary to cause the tortilla to break.

Rollability and inflation: Three whole tortillas were taken at random 30 min after baking, which were rolled manually into a tube 2 cm in diameter and the degree of breakage was quantified.¹⁴ A scale of 1 to 5 was used: 1= no breakage, 2, 3, 4 and 5= 25, 50, 75 and 100% breakage, respectively. Inflation was quantified during baking at 280 °C under the scale: 1= 100% inflated, 2= 50% inflated and 3= no inflation.

Color assessment: Color of doughs and tortillas was measured with a HunterLab reflection colorimeter, which was calibrated with a white porcelain plate. Readings were taken directly on the central part of the doughs and tortillas³ in triplicates. For the color scan, luminosity was considered, ranging from white to black, a* in red (+ values) and green (- values) tones, b* in yellow (+ values) and blue (- values) tones.

Sensorial evaluation

Fifty untrained panelists (consumer-like) from the student and worker population of the Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, and the Universidad Popular de la Chontalpa, México carried out the sensorial evaluation. A seven-point hedonic scale was used by panelists to express how much they liked or disliked five coded tortilla

samples, following the methodology of Anzaldúa.¹⁵ The test was conducted 10 min after baking the tortillas.

Statistical analysis

Data were processed with Statistical Analysis System software (version 9.0.; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), under the completely randomized model, and the means were compared with the Tukey test ($p= 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Proximal chemical analysis of flours

The analysis of variance and means comparison analysis revealed significant differences in the four components analyzed among the three flours (Table 1). The moisture content is higher in the maize flour than in both non-toxic *J. curcas* flours. Protein content was 8.01% in maize flour and 24.5% in non-defatted *J. curcas*, which increases to 55.01% when the oil was removed. These protein values coincide with those reported for maize (8 to 11%)¹⁶ and for whole and defatted *J. curcas* seed and flour.⁶

Rheological properties and dough color

The doughs resulting from the formulations of flour mixtures showed differences in all of the rheological properties, except elasticity (Table 2). Hardness and adhesiveness tended to decrease up to 0.83 and 0.01 when 5 to 15% *J. curcas* flour was added to the maize flour, while cohesiveness increased 0.4 with 5 to 10% *J. curcas* flour,

respectively. A decrease in hardness is attributed to the increase in protein content due to *J. curcas* flour, which confers capacity to absorb more water and thus makes the dough softer.¹⁷ The values obtained are found in the acceptable range (2.06 to 5.19 N) for corn tortillas dough made from landraces.¹⁸

Decreased adhesiveness is also associated with the capacity of the dough to absorb water,¹⁹ which increased with the addition of protein-rich flour. It is important to point out that making tortillas requires less adhesiveness for a less sticky dough, but it should be sufficient to adhere slightly to the rollers that press out the dough in the tortilla machine.²⁰ A dough that does not adhere does not have the consistency suitable for cutting the tortilla, and a too sticky dough cannot form a tortilla that can be placed on the griddle.¹² For this reason, an ideal dough is balanced in terms of adhesion and cohesion, which is achieved when the dough can absorb the necessary quantity of water.^{21,22} Increased cohesiveness, which is the capacity of the molecules to remain united, is closely linked to adhesiveness,²² which gives the dough firmness. It should be mentioned that although the parameters of adhesiveness and cohesiveness are important to determine tortilla quality, none of the several published studies on texture establish values for good quality maize dough.^{23, 24} A study with doughs made from landrace reported a range of adhesiveness of 0.27 to 0.59 N as suitable for producing tortillas.¹²

The elasticity values (13.06 to 13.09 mm) indicate that a dough with ideal hydration for making tortilla were obtained, since values above 8 mm are considered acceptable.²⁴

The values of our study indicate that the doughs are softer and stretch more before breaking.¹⁷

Dough color

Addition of *J. curcas* flour improved the color indicators of the dough (data not shown). The range of white (L) increased 2.29 when 20% *J. curcas* flour was added, relative to the control, and the scale of red (a*) increased 0.24. The range of yellows (b*) were not different from the control; this is attributed to the elimination of the oil from the *J. curcas* flour responsible for the yellow coloring.

Proximal chemical analysis of the tortillas

In the proximal chemical analysis, the variables of the tortillas made with the analyzed flour formulations increased significantly, except for lipid content (Table 3). When the formulation was 20% *J. curcas* flour, there were increases in moisture content 3.76%, protein 6.20%, ash 1.38% and fiber 1.18%, relative to the control.

The increase in moisture was possibly due to the increase in protein content, which allows retention of more water.¹⁷ The moisture values are within the range (35 to 50%) reported for tortillas, depending on the conditions of nixtamalization and maize variety.²⁵ Moisture in the 20% *J. curcas* flour was in the range (47.11 to 48.16%) reported for tortillas fortified with white beans (*Phaseolus vulgaris* L.).⁸

The highest protein increase (6.20%) was obtained when the dough had 20% *J. curcas* flour, similar to tortillas fortified with 4% soybean (*Glicine max* L.) flour³ and with 5 to

20% whole chia seeds (*Salvia hispanica* L.).¹⁶ The ash increases are likely due to the minerals that *J. curcas* seeds contain (calcium, magnesium and potassium, among others),²⁶ and are similar to those in tortillas fortified with 20% amaranth flour (*amaranthus hypochondriacus*).²⁷

The reduced fiber content could be due to the low fiber of defatted *J. curcas* flour, which oscillates between 5 and 9%.⁶ Increases of up to 25% were reported in tortillas fortified with whole chia seed (*Salvia hispánica* L.).¹⁶ However, values similar to ours are reported for tortillas formulated with 4% soybean flour.³ It is concluded that the highest content of protein was obtained with the formulations with 15 and 20 % *J. curcas* flour and that the most desirable percentage for improving tortillas nutritionally is 20%.

Tortilla quality

Tortilla quality, in terms of hardness, rollability and inflatedness, was significantly different among treatments (Table 4). Tortilla hardness decreased more than 50% when 15% *J. curcas* flour was added. This same percentage of flour doubled up rollability, but it was necessary to add 20% of this flour to detect an increase in tortilla inflation.

Hardness, measured by the puncture test, is associated with starch retrogradation, which begins as soon as the tortilla cools. The starch polymers amylose and amylopectin are directly involved. The former has a faster retrogradation process because of its linear, highly polar formation, which reduces its capacity to retain water and causes partial shrinkage of the starch.^{17, 28} This process is altered when *J. curcas*

flour is added; because of its high protein content, the water retention capacity increases, therefore preventing the tortilla from becoming rigid and hard.¹⁷

The rollability value of one indicates no breakage when tortillas are rolled, and therefore, the maize flour used meets this parameter. The addition of *J. curcas* flour modified this characteristic when it was more than 15% of the formulation, increasing softness that caused up to 25% breakage. This change is associated with the increase in water retention, which reached values above 40% because of the high protein content⁶ in *J. curcas* flour.

Water in the tortillas evaporates during baking and inflates it¹⁷ and forms a blister. All of the tortillas (100%) made from maize flour inflated. When the dough had 20% *J. curcas* flour, inflatedness reduced to an intermediate value. The high protein content in the 20% *J. curcas* flour formulation may have made inflation more difficult.

Jatropha also slightly modified the parameters that define tortilla color. Luminosity (L) oscillated between 77.87 and 78.47, and the samples that tended more toward white were those with 10% *J. curcas* flour (Data not shown). The very small changes in the a* and b* values indicate that the tortillas tended slightly toward a yellow tone, which was not significantly different from the negative control. This is associated to the Maillard reaction that starts when the dough is cooked, increasing the yellow tone in the resulting tortilla.¹¹ However, it has been demonstrated that the addition of soybean, amaranth, or bean flours in proportions of 5 to 20% tends to modify the color and produce darker tortillas, affecting luminosity.^{3,29} This did not occur with the addition of *J. curcas* flour.

Sensorial evaluation

The panelists that participated in the sensorial evaluation responded differentially to the treatments (Figure 1). The highest frequencies (approximately 91%) were found in the parameters “I like it very much”, “I like it”, and “I like it a little”. These responses reflected the small difference in flavor between the tortillas fortified with *J. curcas* flour and those made with 100% maize flour (Figure 2a).

The treatments that were most liked were the control tortilla (7.29%), followed by treatments T-5, T-10, and T-20 (all 6.93%) (Figure 2b). The positive characteristics of the tortillas, according to the panel, were good odor and color; in terms of flavor, they did not perceive differences. Treatment T-15 was the most accepted in the category “I like it very much” with 25%. These results corroborate that the tortillas analyzed in this study possess the attributes of good quality associated with dough texture. This is contrary to results of other studies in which non-conventional flours were added.^{5,16} The negative characteristics the panel associated with low acceptability (“I dislike it”) were “it’s not cooked”, “it’s a little hard”, “it needs salt”. These are characteristics that can be corrected.

Acceptable proportions of *J. curcas* flour in the dough formulations were up to 15%. This was corroborated with chemical and rheological analyses. However, panelists in the sensorial evaluation found that the 20% proportion was not different from the control, indicating its acceptance. It is important to point out that previous studies with percentages of 30, 50 and 100% *J. curcas* flour produce products that are not organoleptically accepted by consumers (data not published).

Overall, the addition of *J. curcas* flour to maize flour modified slightly the rheological properties of the dough without a negative effect on the elaboration of tortillas; however, the protein content in the tortilla increased up to 6.2% with no change in color and sensorial properties, which could contribute to improve the nutrition of people who consume them.

ACKNOWLEDGMENT

To Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), for the scholarship provided to the first author.

FOUNDING SOURCES

Thanks to the National System for Plant Genetic Resources (SINAREFI), National Service for Seed Inspection and Certification (SNICS), for the funds granted for this research.

REFERENCES

1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El Derecho a la Alimentación en la Teoría y la Práctica. Roma. Italia. **2000**.
2. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT). Estado de nutrición, anemia, seguridad alimentaria en la población Mexicana. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México. **2012**.

3. Figueroa, C. J. D.; Acero, G. Ma. G.; Vasco, M. N. L.; Lozano, G. A.; Flores, A. L. M.; Gonzáles, H. J. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **2001**, 51, 293-302.
4. Stylianopoulos, C. Efectos de la fortificación y enriquecimientos de tortillas de maíz en el crecimiento y desarrollo cerebral de ratas durante dos generaciones. *Transferencia*. **1999**, 12, 16-18.
5. Vázquez, R. J. A. Amaya, G. C. A. Evaluación sensorial de tortillas de maíz fortificadas con harina de amaranto, frijol y nopal. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato, Gto, México, **2010**, 111-117.
6. Martínez, H. J., Martínez, A. A. L.; Makkar, H.; Francis, G.; Becker, K.; Agroclimatic Conditions, Chemical and Nutritional Characterization of Different Provenances of *Jatropha Curcas* L. from Mexico. *European J. Scientific Res.* **2010**, 39, 396-407.
7. Martinez, H. J.; Siddhuraju, P.; Francis, G. Davila, O. G.; Becker K. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and Effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* **2006**, 96, 80–89.
8. Cuevas, M. D.; Moreno, R. C.; Martínez, M. E.; Martínez, M. E.; Méndez, A. A. Nutrition and texture evaluation of maize white common bean nixtamalized tortillas. *Interciencia* **2010**, 35, 828-832.
9. Amador, A. P., Desarrollo y evaluación de una tortilla de maíz con dos concentraciones de harina de soya (*Glicine max*) y harina de amaranto (*Amarantus hypochondriacus*). Tesis de Licenciatura. Zamorano, Honduras, **2009**.

10. Official Methods of Analysis of AOAC International; Association of Analytical Chemist: Washington, D.C., USA, **1990**.
11. Martínez, F.; Martínez, H.; Sanmartín, E.; Sánchez, F.; Chang, Y.; Barrera, D.; Ríos, E. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *J. Sci. Food and Agric.* **2001**, 81, 1455–1462.
12. Arambula, V. G.; Gonzalez, H. J.; Ordorica F. C.A. Physicochemical, Structural and Textural Properties of Tortillas from Extruded Instant Corn Flour Supplemented with Various Types of Corn Lipids. *J. Cereal Sci.* **2001**, 33, 245–252.
13. Bejosano, P. F.; Joseph, S.; Miranda, L. R.; Kelekci, N. N.; Waniska, D. R. Rheological and sensory evaluation of wheat flour tortillas during storage. *Cereal Chem.* **2005**, 83, 256-263.
14. Bedolla, S.; Rooney, L.W. Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* **1984**, 29, 732-735.
15. Anzaldúa, M. A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España, **2005**, 67-69.
16. Rendón, V. R.; Ortiz, S. A.; Solorza, F. J.; Trujillo, H. A. Formulation, physicochemical, nutritional and sensorial evaluation of corn tortillas supplemented with chía seed (*Salvia hispanica L.*). *J. Food Sci.* **2012**, 30, 118-125.

17. Salinas, M, Y.; Castillo, L. E. B.; Vázquez, C. M. G.; Buendía, G. M. O. Blends of waxy with normal maize and their effect on tortilla quality. *Rev. Mexicana Ciencia Agrícola* **2011**, 2, 689-702.
18. Rangel, M. E.; Muños, O. A.; Vázquez, C. G.; Cuevas, S. J.; Castillo, M. y Colín, S. M. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* **2004**, 38, 53-61.
19. Ramírez, W. B; Ortega F. Evaluación de las propiedades reológicas de la masa y tortilla de maíz comerciales. *Rev. de Ciencias Alimentarias* **1994**, 2, 1-8.
20. Antuna, G. O.; Rodríguez H S. A.; Arámbula, V. G.; Palomo, G. A.; Gutiérrez A. E.; Espinoza, B. A.; Navarro, O. E. F.; Andrio, E. E. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* **2008**, 31, 23-27.
21. Flores, F. R. Efecto de la incorporación de fibra dietética de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales en tortillas de maíz (*Zea mays* L). Tesis de Maestría. CICATA, Querétaro, México. **2004**.
22. Rodríguez S, E., Fernández Q, A., Ayala A, A. Reología y textura de masa: aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación* **2005**, 57, 72-78.
23. Salinas, M. Y.; Gómez, M. N. O.; Cervantes, M. J. E.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Betanzos, M. E. Coutiño, E. B. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **2010**, 1, 509-523.
24. Arámbula, V. G.; Méndez, A. J. A.; González, H. J.; Gutiérrez, Á. E.; Moreno, M. E. Evaluación de una metodología para determinar características de textura de

- tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (ALAN). **2004**, 54, 10-16.
25. Agama, A. E.; Rendón, V. R.; Tovar, J.; Paredes, L. O.; Islas, H. J. J.; Bello, P. L. A. In vitro starch digestibility changes during storage of maize flour tortillas. *Nahrung/Food*. **2004**, 48, 38-42.
26. Toral, O. *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes* **2008**, 31, 191-207.
27. Islas, H. J. J.; Rendón, V. J. R.; Agama, A. E.; Tovar, J.; Bello, P. L. A. Chemical composition and *in vitro* starch digestibility of corn tortillas with added amaranth flour. *J. Sci. Food and Agric*. **2007**, 87, 2348–2352.
28. Almeida, H.; Loyd, W. Avances en la manufactura de productos de maíz nixtamalizado. *Industria Alimentaria* **1996**, 18, 4-13.
29. Güemes, V. N.; Peña, B. R. J.; Jiménez, M. C.; Dávila, O. G. Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivates and effect of these derivates on bread quality and acceptance. *J. Sci. Food and Agric*. **2008**, 88, 1135-1143.

FIGURE CAPTION

Figure 1. Acceptability of maize tortilla fortified with non-toxic *J. curcas* flour.

Figure 2. a) Classification of the variables “I like it” and “I dislike it”, b) Variables with the highest acceptability.

TABLES

Table 1. Chemical composition of flours from different sources.

Flour	Moisture (%)	Ashe (%)	Protein (%)	Lipids (%)
Corn	9.00±0.07 ^a	0.93±0.06 ^a	8.01±0.01 ^a	4.00±0.10 ^b
Non defatted <i>J.curcas</i>	5.5±0.15 ^c	4.29 ±0.07 ^b	24.5±0.06 ^b	53.52±0.05 ^c
Defatted <i>J.curcas</i>	6.4±0.10 ^b	10.4 ±0.05 ^c	55.01±0.06 ^c	1.44±0.01 ^a

Means with the same letter in each column are not statistically different (Tukey, 0.05).

Table 2. Texture profile of maize dough fortified with non-toxic *J. curcas* flour.

Treatment	Hardness (N) ¹	Adhesiveness (-N)	Cohesiveness	Elasticity (mm)
T-0	3.13±0.08 ^d	0.05±0.01 ^b	0.56±0.03 ^a	13.08±0.01 ^a
T-5	2.84±0.01 ^c	0.05±0.04 ^b	0.57±0.01 ^b	13.06±0.05 ^a
T-10	2.46±0.03 ^b	0.05±0.02 ^b	0.60±0.01 ^c	13.08±0.00 ^a
T-15	2.30±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a	0.60±0.03 ^c	13.09±0.01 ^a
T-20	2.30±0.02 ^a	0.04±0.04 ^a	0.60±0.01 ^c	13.09±0.02 ^a

Maize and *J. curcas* flours proportions: 100:0 (T-0, control treatment), 95:5 (T-5), 90:10 (T-10), 85:15 (T-15) and 80:20 (T-20). ¹N= Newton. Means with the same letter in each column are not statistically different (Tukey, 0.05).

Table 3. Proximal chemical analysis of maize tortillas fortified with non-toxic *J. curcas* flour.

Treatment	Moisture (%)	Protein (%)	Lipids (%)	Ash (%)	Fiber (%)
T-T	44.07±0.69 ^a	4.65±0.28 ^a	3.14±0.23 ^a	0.70±0.22 ^a	0.8±0.77 ^c
T-5	44.00±0.47 ^a	6.52±0.15 ^b	3.35±0.28 ^a	1.21±0.07 ^b	0.93±0.29 ^b
T-10	45.66±0.45 ^b	7.94±0.16 ^c	3.63±0.66 ^a	1.45±0.03 ^{bc}	1.3±0.05 ^b
T-15	46.84±0.52 ^{bc}	9.04±0.43 ^d	3.79±0.32 ^a	1.64±0.12 ^c	1.71±0.57 ^a
T-20	47.83±0.67 ^c	10.85±0.02 ^e	3.95±0.29 ^a	2.08±0.03 ^d	1.98±0.17 ^a

Means with the same letter in each column are not statistically different (Tukey, 0.05).

Table 4. Hardness, rollability and inflatedness in maize tortilla fortified with non-toxic *J. curcas* flour.

Treatments	Hardness (N)	Rollability ¹	Inflatedness ²
T-0	0.82±0.09 ^b	1±0.00	1±0.00
T-5	0.82±0.34 ^b	1±0.00	1±0.00
T-10	0.75±0.06 ^b	1±0.58	1±0.00
T-15	0.54± 0.00 ^a	2±0.00	1±0.58
T-20	0.48±0.02 ^a	2±0.00	2±0.00

¹Subjctive scale where: 1=0%, 2= 25%, 3= 50%, 4= 75% and 5=100% breakage.

²Subjctive scale where: 1= 100%, 2= 50% and 3= 0% inflatedness. N= Newton. Means with the same letter in each column are not statistically different (Tukey, 0.05).

FIGURES

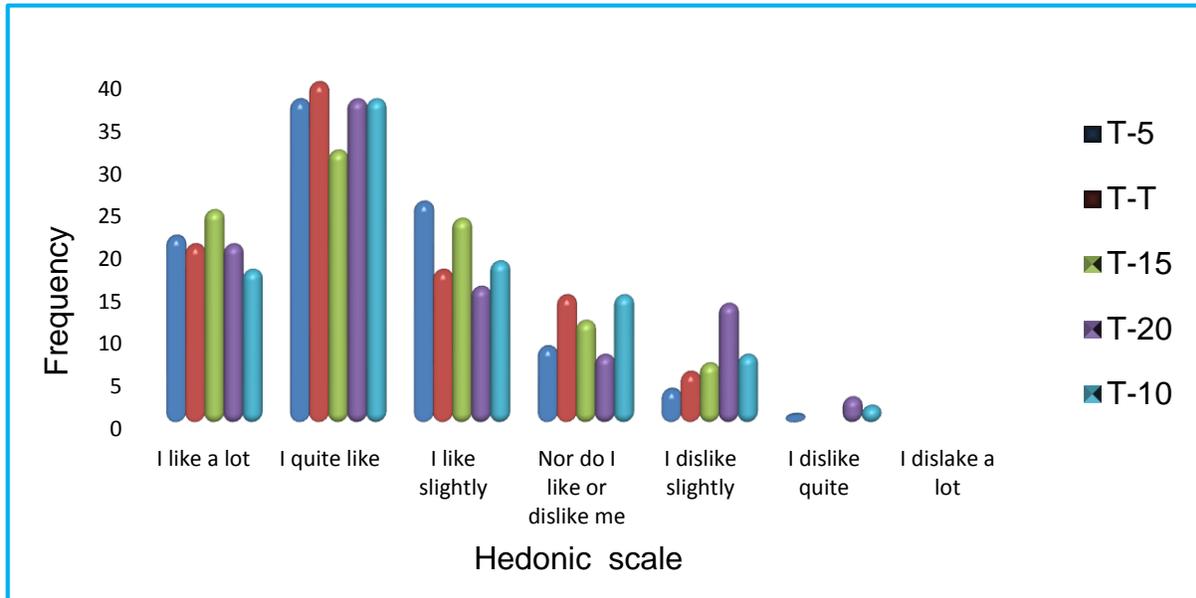


Figure 1. Acceptability of maize tortilla fortified with non-toxic *J. curcas* flour

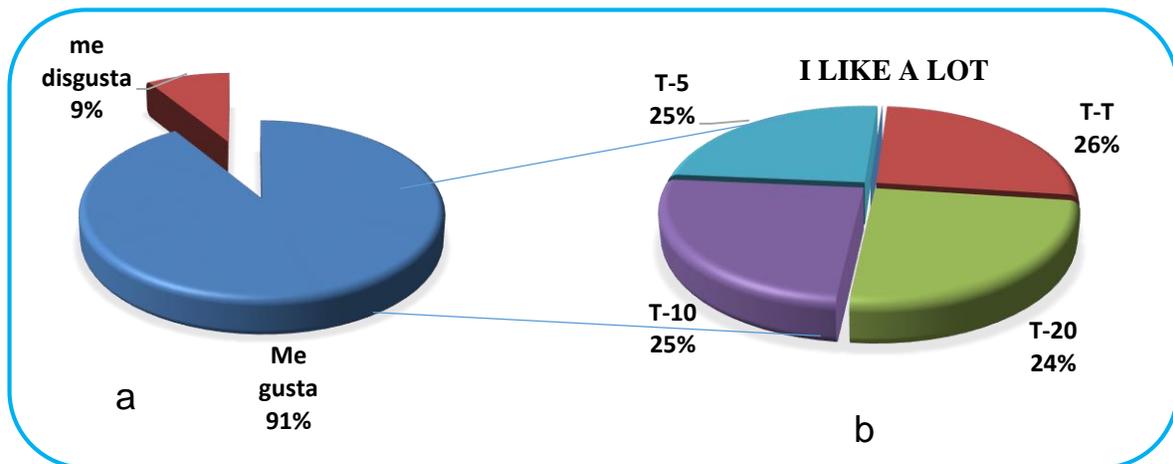


Figure 2. a) Classification of the variables “I like it” and “I dislike it”, b) Variables with the highest acceptability

CAPITULO II. PROPIEDADES REOLÓGICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE GALLETAS Y PAN PARA PIZZA FORTIFICADOS CON HARINA DE PIÑÓN (*Jatropha curcas*).

RESUMEN

. El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento reológico de mezclas de harina de trigo con harina desgrasada de *J.curcas*, utilizando los siguientes equipos Alveógrafo Chopin, Farinografo Brabender, esto con el fin de determinar en qué proporción la harina de *J. curcas* puede ser sustituida sin afectar la calidad panadera. Las harinas fueron mezcladas para obtener cinco tratamientos T-T= 100/0, T-5= 95/5, T-10= 90/10, T-15= 85/15, T-20= 80/20% de trigo y *J. curcas* respectivamente. Las variables respuesta en las masa fueron, fuerza, tenacidad, extensibilidad, coeficiente de tenacidad/extensibilidad, absorción de agua, tiempo de desarrollo, tolerancia al amasado, grado de debilitamiento e índice de tolerancia al amasado. Se observó que el porcentaje idóneo para la incorporación de harina de *J. curcas* a harina de trigo debe de ser menor al 15%, porque son las concentraciones más cercanas al testigo, las cuales no afectan las características alveográficas y farinográficas, con valor de W menor a 290×10^{-4} J, e incrementos en tenacidad y P/L de 77.01 a 93.47 mm, y 0.84 a 2.59 mm, respectivamente; en cuanto a extensibilidad el decremento fue de 92.01 a 36.04 mm. Por otro lado los valores farinográficos en cuanto a absorción de agua oscilaron 46.45% a 54.07%, con un tiempo de desarrollo 2.50 a 3.53 min, índice de tolerancia 220 a 140.83 U.B., y una disminución de estabilidad de 6.5 a 4.4 min. Con base a esto resultados se puede concluir que la mezcla de harinas puede ser usada para elaborar galletas y pizza sin afectar sus propiedades reológicas. En cuanto al contenido proteico

en galletas se observó un incremento de 9.48% a 16.46%, en pizza de 11.52% a 16%. En el caso de las galletas la humedad osciló entre 2.45%-3.63%, parámetro importante para determinar su producción industrial. El factor expansión en galletas fortificadas fue 4.92 a 4.65 calificándolas con muy buena calidad en comparación con el testigo que fue de excelente calidad. En la evaluación sensorial se observó que los productos elaborados con harina de *J. curcas* presentan una buena aceptabilidad al igual que los elaborados con 100% de harina de trigo. Se demostró que el incremento de harina de *J. curcas* hasta un 20% aunado al alto contenido proteico que esta le confirió, no afectó la preferencia y aceptación de los productos por el consumidor.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, fortificación contenido proteico, factor galletero, reología.

ABSTRACT

The objective of this research was to study the rheological behavior of mixtures of wheat flour with defatted *J. curcas*. The samples were mixed for five treatments TT = 100/0, T-5 = 95/5, T-10 = 90/10 = 85/15 T-15, T-20 = 80/20% wheat and *J. curcas* respectively. The response variables were the mass, strength, toughness, extensibility, coefficient of tenacity / extensibility, water absorption, development time, mixing tolerance, degree of weakening, mixing tolerance index. And tortillas proximate analysis (protein, moisture, fat, ash, fiber), inflated rolabilidad, and color determined. After analyzing all the variables was observed that the appropriate percentage for the incorporation of *J. curcas* flour to wheat flour should be less than 15%, because they are the closest to the control concentrations that do not affect alveographic and farinographic. Presenting a less than 290 W x 10.4 J, an increase in toughness and P / L of 77.01 to 93.47 mm, and 0.84 to 2.59 mm respectively, in terms of the decrease was extensibility of 92.01 to 36.04 mm. Furthermore the farinograph values regarding water absorption ranging 46.45% to 54.07%, with a development time of 2.50 to 3.53 min, tolerance index UB 83 220-140, and decreased stability of 6.5 to 4.4 min. Based on this results we can conclude that the mixture of flour can be used to make biscuits and pizza without affecting its rheological properties. Regarding the protein content in biscuits increased (9.48% to 16.46%) was observed in pizza (11.52% -16%). In the case of biscuits between the tilt moisture (2.45% -3.63%) to determine important parameter industrial production. The expansion fortified biscuits factor was 4.92 to 4.65 describing them with very good quality compared to the witness who was of excellent quality. In the sensory evaluation found that products made with flour *J. curcas* have good acceptability as those made with 100

% wheat flour. It was shown that the increase in flour J.curcas up to 20% coupled with high protein content that is bestowed, did not affect the preference and acceptance of the product by the consume.

Keywords: Jatropha curcas, fortification, protein content, spread factor, rheology.

INTRODUCCIÓN

Los productos basados en trigo han recibido atención considerable en la alimentación durante muchos años, principalmente aquellos de consumo masivo, como los de panificación y horneados (Cori de Mendoza *et al.*, 2004); entre estos la galleta por su bajo costo de producción y una vida prolongada de almacenamiento (Sudha *et al.*, 2007; Cori de Mendoza *et al.*, 2004). Otro producto es la pizza, que se consume en todos los sectores de la sociedad y en el que los mexicanos son los segundos consumidores en el ámbito mundial, superados solamente por los estadounidenses (MXDF, 2013). Por ello numerosas investigaciones han buscado la mejora nutricional de este tipo de alimentos, mediante la incorporación de harinas provenientes de fuentes no convencionales (Macías *et al.*, 2013; Bayan *et al.*, 2012).

Existen plantas que actualmente pueden ser aprovechadas en la alimentación humana por su contenido nutrimental y que pueden contribuir a la seguridad alimentaria (Díaz *et al.*, 2013). Tal es el caso de *Jatropha curcas* L., popularmente conocida como piñón mexicano en México, cuya semilla contiene entre 25 y 30% de proteína que después de la extracción de lípidos se incrementa hasta 60% (Martínez *et al.*, 2010). La harina desgrasada de *J. curcas* presenta una digestibilidad *in vitro* de 78%, que aumenta a 88% después de someterla a un proceso térmico (Martínez *et al.*, 2010).

La industria de los alimentos día a día, busca desarrollar nuevos productos que satisfagan el gusto del consumidor (Bello *et al.*, 2002), sin afectar su propiedades nutricionales, texturales y sensoriales. Para esto las mediciones reológicas juegan un papel primordial tanto en las materias primas, como en los productos intermedios y

finales (Rodríguez *et al.*, 2005). La harina de trigo, al ser un material visco-elástico, sus propiedades reológicas dependen de la calidad de sus proteínas y de las condiciones de proceso. El comportamiento reológico de estas masas se puede determinar con el alveógrafo y farinógrafo, que proporcionan información útil y practica para la industria panadera y molinera (Martínez *et al.*, 2010).

La adición de harina de *J. curcas* a la de trigo resulta ser excelente opción para personas susceptible a las proteínas que forman el gluten, ya que aproximadamente 1 de cada 150 personas en México sufre de este padecimiento, el cual puede culminar en la enfermedad denominada Celiaca, originando síntomas como: diarreas o estreñimientos severos, pérdida de peso, cambios de carácter y malnutrición en (<http://www.acelmex.org.mx/>). Para prevenir o controlar este problema se requieren dietas sin gluten, lo que limita el consumo de algunos productos como pan, productos horneados y otros alimentos elaborados con harina de trigo (Sweta *et al.*, 2014). Por lo tanto, producir comestibles con este ingrediente, así como la incorporación de otras harinas de fuentes no convencionales, para la fabricación de galletas y pan para pizza contribuye con las estrategias de fortificación, siendo un buen vehículo para hacer llegar a la población con productos de mayor calidad nutricional (Cori de Mendoza *et al.*, 2004; Chim *et al.*, 2003; Sudha *et al.*, 2007).

Macías *et al.* (2013), desarrollaron galletas de calidad nutricional mejorada para escolares, con mezclas de harinas de trigo, de algarroba (*Prosopis alba*) y avena (*Avena sativa*). Determinaron la composición química proximal y evaluación sensorial, reportan que a una sustitución hasta de 20%, mejora la calidad proteica, incrementa el

aporte de fibra y minerales y mantiene una buena aceptación sensorial por parte de los consumidores.

En productos de panificación Güemes *et al.* (2008), observaron un incremento en el volumen de pan blanco y pan dulce al adicionar 1 a 2% de aislado proteico de *Lupinus mutabilis* y un aumento en la vida de anaquel del pan al adicionar 0.5 y 1% de este aislado.

Por ello en el presente trabajo se planteó la sustitución de harina de trigo por harina de *J. curcas* en la elaboración de productos de consumo masivo como galletas y pizza para constatar que la adición de dicha harina no afecte sus propiedades reológicas, fisicoquímicas y sensoriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Harinas

La harina de *J. curcas* se obtuvo de semillas de un ecotipo comestible no tóxico (sin detección de ésteres de forbol) producido en Veracruz, que se descascararon, se molieron y se tamizaron en una malla del No. 80 para uniformizar las partículas de la harina. En seguida se desgrasó con hexano en un equipo Soxhlet durante 16 h a 68°C para eliminar en su totalidad el aceite presente. La harina de trigo fue del tipo comercial San Antonio (Extra fina) de la marca Tres Estrellas™.

Formulación de harinas fortificadas

Se mezcló la harina de trigo y de *J. curcas* en cuatro proporciones, utilizadas para la elaboración de galletas y pan para pizza (Cuadro 4).

Cuadro 4. Formulación de harinas para la elaboración de Galleta y pan para pizza.

Galleta	Pizza	Harina
G-T	P-T	100% harina trigo (testigo)
G-5	P-5	95% trigo, 5% <i>J. curcas</i>
G-10	P-10	90% trigo, 10% <i>J. curcas</i>
G-15	P-15	85% trigo, 15% <i>J. curcas</i>
G-20	P-20	80% trigo, 20% <i>J. curcas</i>

Variables respuestas

Análisis químico proximal

Se cuantificó por triplicado el porcentaje de proteína, lípidos, cenizas, humedad y fibra, mediante la metodología de la norma oficial de la A.O.A.C (1990), en la harina de *J. curcas* (entera y desgrasada), harina de trigo y en galletas y pan para pizza elaboradas con las formulaciones antes mencionadas.

Propiedades Reológicas (visco-elásticas y de amasado)

Alveógrama: El ensayo consistió en amasar 50 g de harina refinada, por 8 min, con la adición de agua en cantidad determinada de acuerdo a la humedad de la harina, que se estimó con la metodología 54-30^a de la AACC (1995). Los parámetros evaluados fueron: resistencia a la deformación o tenacidad P (mm), extensibilidad (mm), y trabajo realizado para deformar la masa $W \times 10^{-4}$ Joule, que es el equivalente o proporcional al área bajo la curva y está fuertemente relacionado con el contenido de proteína o fuerza

de la harina. Los Alveógramas se realizaron en el Laboratorio de trigo del Centro Experimental Valle México (CEVAMEX), INIFAP.

Farinografo: El ensayo consistió, en medir la resistencia que opone la masa al amasado. De acuerdo al contenido de humedad y proteína de las harinas y con el uso de tablas (proporcionadas en CEVAMEX, INIFAP) se determinó la cantidad de harina a pesar, esta se colocó en la amasadora del farinógrafo. Es importante añadir cuidadosamente el agua durante el amasado para lograr centrar la curca en la línea de 500 U.B., lo que se especifica en la metodología 54-40 A de la AACC (1995). Los parámetros reportados son: tiempo de desarrollo, absorción de agua, estabilidad e índice de tolerancia al amasado.

Elaboración de Productos

Galleta

En una mezcladora Hamilton se batió 300 g de mantequilla hasta obtener una consistencia cremosa, se añadió 250 g de azúcar, dos huevos, 5 ml de vainilla y 125 ml de leche, se continuo batiendo y se agregó poco a poco 500 g de harina (mezcla de las harina trigo y piñón). Se continuó con amasado a mano y se añadió más harina hasta lograr una fácil manipulación. Se extendió la masa sobre una superficie lisa con una capa (0.7 cm) de harina de trigo. Se cortaron las galletas y se colocaron en una charola antiadherente previamente engrasada y se hornearon a 180°C por 20 min.

Pan para Pizza

Se prepararon 500 g de masa (mezcla de harina de trigo y piñón). Se disolvió 15 g de levadura en 150 ml de agua tibia (30°C), se comenzó el amasado añadiendo agua poco a poco, con la adición de 2 g de sal y 12 ml de aceite de olivo. La masa obtenida se colocó en una charola previamente engrasada para dejarla fermentar 30 min. Después se amasó para sacar todo el aire formado y darle una consistencia más suave y se dejó 30 min más para una segunda fermentación. En seguida se extendió la masa hasta formar una base redonda de 35 cm de diámetro y borde de 2 cm, se llevó al horno para ser precalentada por 10 min a 180°C.

Análisis fisicoquímico

En las galletas y base de pan para pizza, se realizó la medición del porcentaje de humedad, proteína, cenizas y fibra, de acuerdo a los métodos oficiales de la A.O.A.C. (1990).

Análisis de calidad Factor galletero

A una muestra de 5 galletas, con un vernier, se le tomaron las medidas de diámetro de expansión o factor galletero (W/T), donde W es el grosor o altura promedio de las galletas y se calculó después de sobreponer dichas galletas, T , que es el promedio del diámetro, se midió girando 90° cada galleta 3 veces, con lo que se calculó el promedio por galleta y después se promediaron los 5 promedios, tal como lo señala la metodología 54-40 A de la AACC (1995), con lo que se calificó al producto (Cuadro 5).

Cuadro 5. Escala para calificar la calidad galletera

Factor galletero	Aptitud galletera
5.0 a 6.0	Excelente
4.5 a 4.9	Muy buena
4.0 a 4.4	Buena
3.5 a 3.9	Regular
3.0 a 3.4	Pobre
2.5 a 2.9	Muy pobre

Fuente: Laboratorio de Trigo del Centro Experimental Valle México (CEVAMEX), INIFAP.

Evaluación sensorial

Se realizó con un panel de 50 jueces no entrenados (tipo consumidor) de la población estudiantil y trabajadora del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco y 50 jueces de la Universidad Popular de la Chontalpa. Se utilizó la prueba hedónica con una escala de siete puntos, con 5 muestras codificadas, proporcionadas al panelista para que evaluara cuanto gustó o disgustó el producto; de acuerdo con Anzaldúa, 2005. Dicha prueba se realizó 10 min después de la preparación de la galleta y base de pan para pizza.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con el paquete SAS V.9.0 versión 2002, bajo un diseño completamente al azar y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p= 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química proximal de las harinas

Las tres harinas analizadas mostraron diferencias significativas en el análisis de varianza y comparación de medias (Cuadro 6). La humedad es mayor en la harina de trigo e inferior en ambas muestras de harina de *J. curcas*. El valor proteico de la harina de trigo (9.85%) se encuentra en el rango entre 9 y 11% (Sweta *et al.*, 2014; Maghaydah *et al.*, 2013). El contenido proteico de harina entera de *J. curcas* es de 24.5%, que incrementa al separar los lípidos a 55.01, lo que coincide con los valores reportado por Martínez *et al.* (2010^b), que representa 5.5 veces superior al encontrado en trigo. Este alto contenido proteico es lo que promueve los estudios para el aprovechamiento de la harina en la fortificación de alimentos, en este caso galletas y pizza.

Cuadro 6. Composición química de las harinas.

Tipos de harina	Humedad (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)
Harina de trigo	11.05±0.03 ^a		9.85±0.01 ^a	1.05±0.01 ^a
Harina entera <i>J.c.</i>	5.5±0.15 ^c	4.29 ±0.07 ^a	24.5±0.06 ^c	53.52±0.05 ^c
Harina desgrasada <i>J.c.</i>	6.4±0.10 ^d	10.4 ±0.05 ^b	55.01±0.06 ^d	1.44±0.01 ^a

J. c.: *Jatropha curcas*. Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Propiedades viscoelásticas (Alveograma)

La adición de harina de *J. curcas* modificó todas las propiedades viscoelásticas de la masa de trigo (Cuadro 7, Figura 3). La harina de trigo presentó una fuerza de gluten medio-fuerte con $W = 290 \times 10^{-4}$ J, con tendencia a fuerte balanceado, ya que los valores de P (77 mm) y L (92 mm) fueron similares a la clasificación de trigo en México (Salazar, 2000). Los valores de extensibilidad P/L obtenidos fueron cercanos al reportado para trigos suaves utilizados en la elaboración de galletas, que oscilan entre 0.06 mm a 0.8 mm (Peña *et al.*, 2007). Estos resultados indican que la harina de trigo comercial empleada en el estudio presentó una calidad poco idónea para la elaboración de pan, pero una calidad intermedia para la elaboración de productos de bajo volumen, como galletas y base de pan para pizza.

Cuadro 7. Propiedades viscoelásticas de masa de trigo fortificada con harina de *J. curcas*.

Tratamiento	W x 10 ⁻⁴ J	P (mm)	L (mm)	P/L
HT-T	290±0.78 ^a	77.01±0.00 ^a	92.01±0.58 ^a	0.84±0.01 ^a
HT-5	210±0.96 ^b	78.01±0.96 ^b	90.13±0.58 ^b	0.85±0.01 ^b
HT-10	195±0.96 ^c	80.03±0.82 ^c	70.01±0.96 ^c	1.14±0.01 ^c
HT-15	122±0.92 ^d	88.03±0.58 ^d	48.00±0.96 ^d	1.83±0.03 ^d
HT-20	89.50±0.58 ^e	93.47±58 ^e	36.04±0.50 ^e	2.59±0.03 ^e

W= Fuerza, P= tenacidad, L= Extensibilidad, P/L= índice de tenacidad/extensibilidad. *Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La sustitución de harina de *J. curcas* redujo la fuerza del gluten, pero incrementó los parámetros de tenacidad P, Extensibilidad L e índice de tenacidad/extensibilidad P/L

(Cuadro 7, Figura 3). La fuerza del gluten se redujo 80, 95, 168 y 200 x 10⁴ J, al adicionar 5, 10, 15 y 20% harina de *J. curcas*, respectivamente, mientras que la tenacidad aumentó 1, 3.02, 11.02 y 16.44 mm. La extensibilidad disminuyó 1.88, 22, 44.01 y 55.97, que en consecuencia favoreció incrementos en el índice de tenacidad/extensibilidad de 0.01, 0.3, 0.99 y 1.75, con respecto al testigo.

La reducción en fuerza posiblemente se deba a un decremento en la capacidad del gluten para retener gas durante el proceso de fermentación biológica (Rodríguez *et al.*, 2012), que se da por la relación de gluteninas y gliadinas presentes en la harina de trigo, lo cual se reduce al adicionar harina de *J. curcas* que únicamente contiene gluteninas (Martínez *et al.*, 2008), lo que genera un efecto de “dilución” de las proteínas del gluten (El-Adawy, 1997), responsable de la fuerza de la masa. Este efecto resulto benéfico para la elaboración de productos de bajo volumen como, galletas y base de pan para pizza.

El incremento en la tenacidad y reducción en la extensibilidad del gluten se encuentra estrechamente relacionado con el decremento de la gliadina proteína responsable de la capacidad de las masas para extenderse y retener gas durante el proceso de fermentación (Rodríguez *et al.*, 2012).

En base a esto se recomienda la adición de harina de *J. curcas* en proporciones menores a 15% dado que en concentraciones mayores se produce un efecto negativo en el laminado y moldeado de la masa, lo que provoca que se retraiga y reduzca la característica crocante de la galleta; mientras que la masa para pizza tiende a ser de miga más compacta y de textura más dura. La sustitución de harina de *J. curcas* por

arriba de 15% sería factible al usar harina de trigo de gluten fuerte, para que al momento de mezclarse con harina de *J. curcas* no afecte la fuerza y extensibilidad del gluten.

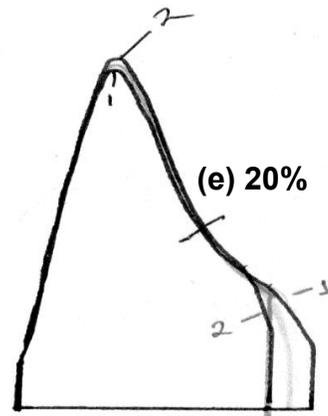
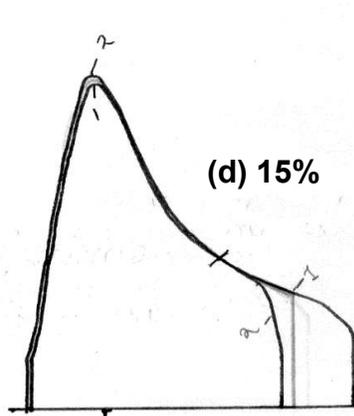
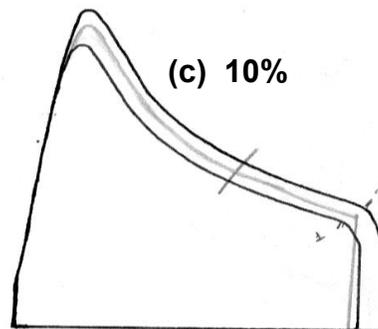
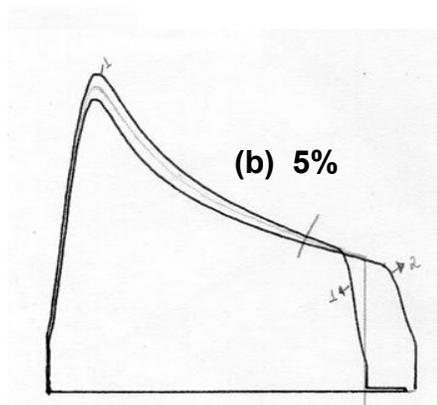
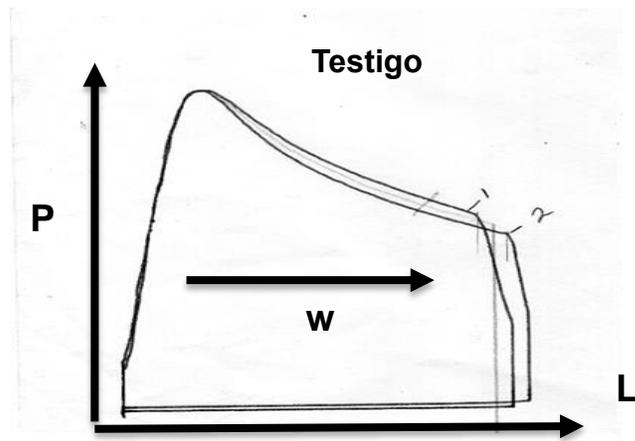


Figure 3. Alveogramas; a) testigo 100% harina de trigo; b) trigo con 5% de *J. curcas*; c) trigo con 10% de *J. curcas*; d) de trigo con 15% de *J. curcas*; e) de trigo con 20% de *J. curcas*.

Farinogramas

La sustitución de harina de *J. curcas* modificó las propiedades físicas y perfil general del comportamiento de la masa durante el mezclado (Cuadro 8). La absorción de agua incrementó hasta 7.6% con 20% de harina de *J. curcas*. Aunque la harina utilizada presenta una alta capacidad de hidratación, esta se incrementó con la adición de harina de *J. curcas* rica en proteínas que ayudan a fijar moléculas de agua (El-Adawy, 1997). La misma tendencia se observó al mezclar harina de Ñame purpura (*Dioscorea alata*) con harina de trigo, causado por el gran número de grupos hidroxilos existentes en la estructura del almidón de la harina Ñame purpura, Po-Hsien *et al.* (2012).

Cuadro 8. Características farinográficas

Parámetros	AA (%)	TOD (min)	GD (UB)	ITM (UB)	E (min)
HT-T	46.45±0.25 ^a	2.50±0.06 ^a	190.17±0.06 ^a	220±0.58 ^a	6.5±0.06 ^d
HT-5	50.43±0.58 ^b	2.50±0.06 ^a	170.30±0.10 ^b	180±0.58 ^b	6.0±0.00 ^c
HT-10	50.80±0.00 ^b	2.63±0.10 ^a	160.17±0.12 ^c	170.67±0.58 ^c	4.5±0.06 ^a
HT-15	50.90±0.06 ^b	3.00±0.10 ^b	143.67±0.89 ^d	158.33±0.58 ^d	5.3±0.03 ^b
HT-20	54.07±0.12 ^c	3.53±0.06 ^b	130.17±0.06 ^e	140.83 ±0.76 ^e	4.4±0.06 ^a

AA = Absorción de agua; TOD = Tiempo Óptimo de desarrollo; ITM = Índice de tolerancia al mezclado (Unidades Brabender); GD: grado de debilitamiento; E = Estabilidad. Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

El tiempo óptimo de desarrollo (TOD) y la estabilidad al masado (GD) son importantes durante el proceso de panificación. La harina de *J. curcas* incrementó el

TOD en 1.03 min al adicionar 20% harina de *J. curcas* en relación con el testigo, esto probablemente como resultado del efecto de “dilución” causado por la harina de *J. curcas* al gluten de trigo, lo cual hace más lento el acomodo y alineación de las moléculas gluteninas y gliadinas para formar el gluten y que éste exprese su fuerza máxima (El-Adawy, 1997), Figura 4. Para harinas de gluten fuerte el tiempo de retención es entre 5 a 10 min, mientras que para trigos suaves va de 3 a 5 min utilizados en la producción de galletas o afines (Peña *et al.*, 2008), rango en que se encuentran las mezclas con 15 y 20% con harina de *J. curcas*.

La estabilidad, que mide la tolerancia de la harina al amasado, mostró reducción 2.1 min al adicionar 20% de harina de *J. curcas*, respecto a la de trigo, lo que ubica a la harina de trigo en el Grupo 3, de gluten débil o de poca fuerza (Peña *et al.*, 2008). Misma tendencia fue lograda al mezclar harina de trigo con harina de arroz (Sivaramakrishnan *et al.*, 2004). La sustitución de 20% harina *J. curcas* redujo el grado de debilitamiento (GD) en 60 U.B., e índice de tolerancia al amasado (ITM) en 79.2 U.B., respecto al testigo, lo cual se asocia al aumento en la tenacidad de la masa, resultado obtenido en la prueba alveográfica.

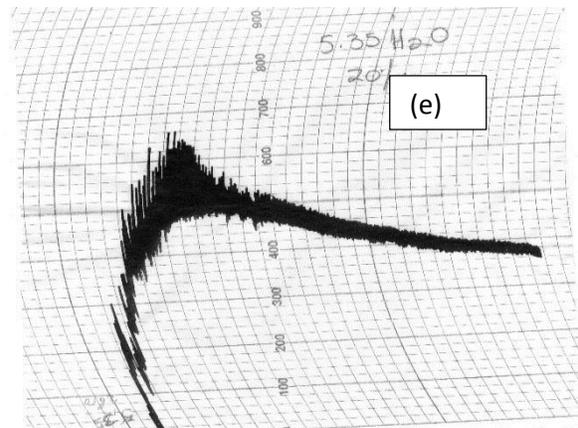
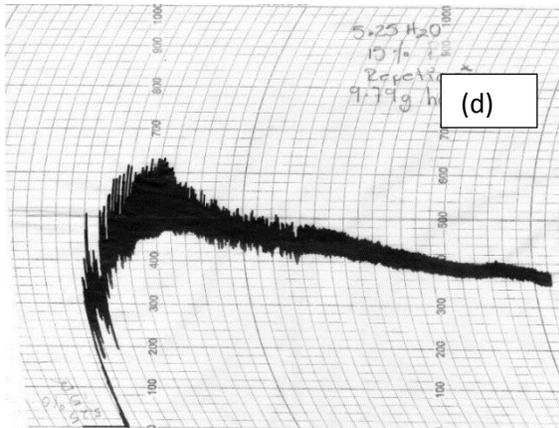
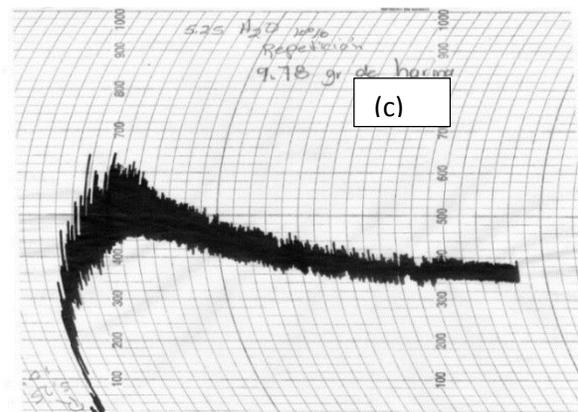
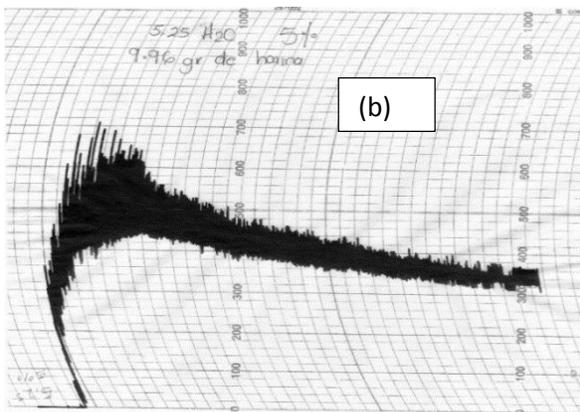
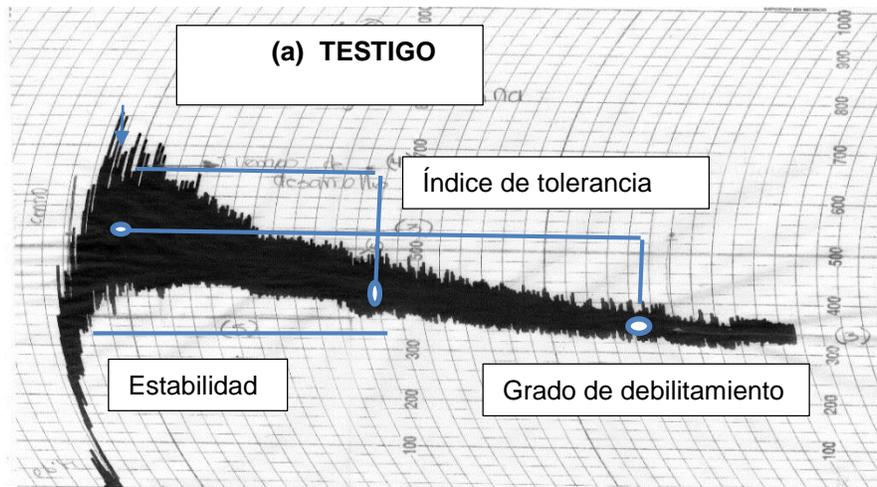


Figura 4. Farinogramas; a) testigo: 100% harina de trigo; b) trigo con 5% de *J. curcas*; c) trigo con 10% de *J. curcas*; d) trigo con 15% de *J. curcas*; e) trigo con 20% de *J. curcas*.

Composición química proximal

Galleta

Las galletas elaboradas con la adición de harina de *J. curcas* modificaron las propiedades químicas evaluadas, excepto el contenido de lípidos (Cuadro 9). Aunque el contenido de humedad mostró variación, la tendencia fue a incrementar ligeramente conforme se aumentó el porcentaje de harina de *J. curcas*. El contenido de humedad máximo (3.63%) observado cumple con lo requerido por la Norma Mexicana (NMX-F-006-1983) para galletas, que señala como valor máximo 5%, lo cual resulta idóneo para controlar la estabilidad de las grasas, tiempo vida de anaquel y disminución de los riesgos microbiológicos.

El contenido proteico aumento 6.68% y el de cenizas 2.26%, mientras que la fibra se redujo 2.05%, esto al adicionar 20% de harina de *J. curcas*. Valores similares fueron obtenidos en galletas con adición de 5 y 10% de harina de lupinos (*Lupinus* spp.), Bayan *et al.* (2012). El incremento en cenizas posiblemente se debe a la aportación de minerales (calcio, magnesio y potasio) de la harina de *J. curcas*. Bayan *et al.* (2012) reportó un incremento de cenizas de 1.29 a 2.44% al elaborar galletas con la adición de harina de Lupinos, similar al observado en el presente estudio. En el contenido de fibra existió una disminución conforme aumenta el nivel de sustitución de *J. curcas*. Caso contrario a lo observado en galletas elaboradas con harina hojas secas de Moringa (Dachana *et al.*, 2010).

Cuadro 9. Análisis químico proximal de galletas

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)
G-T	2.45±0.25 ^{cd}	9.48±0.17 ^d	16.67±0.29 ^a	3.10±0.24 ^c	5.51±0.35 ^a
G-5	3.35±0.22 ^{ab}	10.70±0.16 ^d	16.63±0.12 ^a	4.26±0.21 ^b	5.48±0.43 ^a
G10	2.05±0.14 ^d	12.71±0.07 ^c	16.32±0.16 ^a	4.30±0.13 ^b	4.63±0.09 ^c
G-15	2.91±0.22 ^{bc}	14.36±0.05 ^b	16.69±0.13 ^a	4.39±0.20 ^b	3.96±1.22 ^d
G-20	3.63±0.18 ^a	16.46±0.09 ^a	17.09±0.92 ^a	5.36±0.21 ^a	3.46±0.09 ^d

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Análisis de calidad Factor galletero

La harina de *J. curcas* modifico ligeramente las variables que determinan la calidad del factor galletero (Cuadro 10). Al aumentar el grado de sustitución de harina de trigo por harina de *J. curcas* se redujo el diámetro de las galletas, mientras el espesor incrementó, lo cual indica que la masa tiene una mayor tenacidad pero poca extensibilidad, tal como se observó en las pruebas alveográficas. La misma tendencia se observó en galletas suplementadas con harina de amaranto (Sindhuja *et al.*, 2005).

Cuadro 10. Calidad galletera

Muestras	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Factor de galletero
G-T	71.03±0.01 ^a	14.24±0.01 ^c	4.98±0.02 ^a
G-5	70.07±0.01 ^b	14.39±0.01 ^b	4.92±0.01 ^b
G-10	68.15±0.02 ^c	14.6±0.06 ^a	4.66±0.01 ^c
G-15	67.33±0.01 ^d	14.6±0.06 ^a	4.61±0.01 ^d
G-20	66.93±0.03 ^e	14.6±0.06 ^a	4.58±0.01 ^e

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

En cuanto al factor galletero pese a las diferencias obtenidas en el diámetro y espesor, se obtuvieron galletas con una calidad mayor a 4.5, que corresponde a una aptitud galletera de muy buena calidad, por lo que la reducción observada al incorporar harina de *J. curcas* no fue suficiente para causar un efecto negativo en el producto final (Figura 5). Caso similar fue reportado en galletas elaboradas con adición de harina de *Lupinus* al 10% (Bayan *et al.*, 2013).

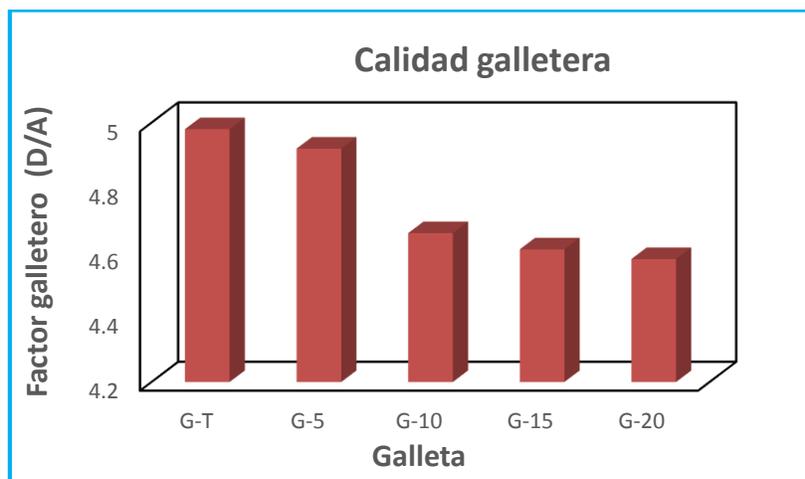


Figura 5. Grafica de valores del factor galletero

Evaluación sensorial

El nivel de aceptación de los panelistas en las galletas cae dentro del rango de 1 a 4 en la escala hedónica (Figura 6). Las mayores frecuencias (aproximadamente 90%) se encuentra entre los parámetros me gusta (Figura 7a). Con ello se comprobó que existe una mínima diferencia en cuanto al sabor de las galletas fortificadas con harina de *J. curcas* y aquellas elaboradas con 100% de harina de trigo.

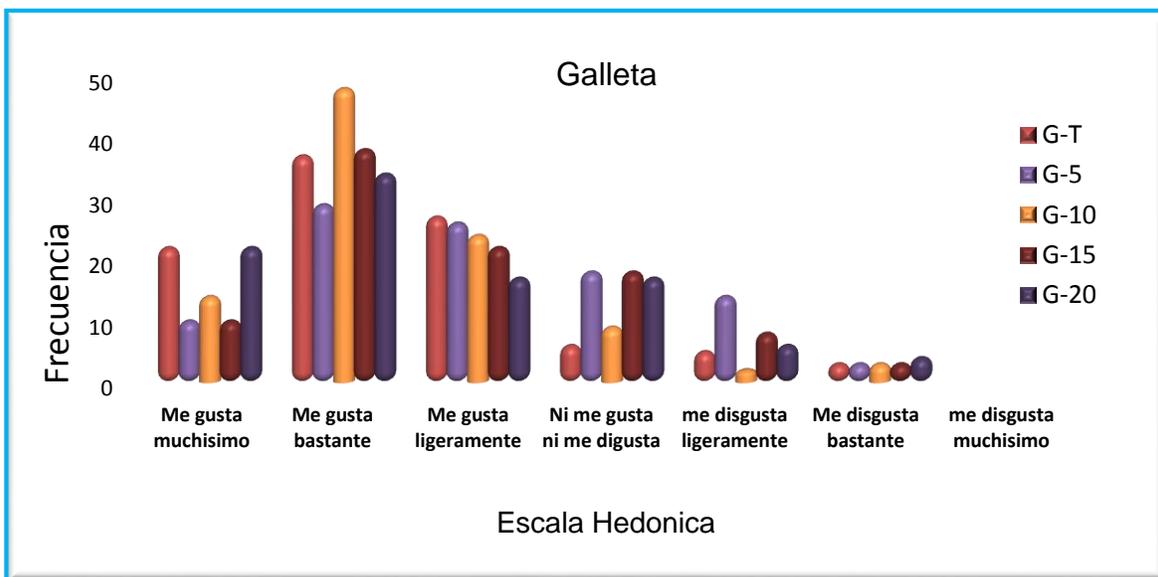


Figura 6. Grado de aceptabilidad de galletas a base de harina de *J. curcas*, a diferentes % de sustitución.

La galleta con mayor agrado fue la (G-10), con 9.6% de aceptación, seguido de la galleta (G-15 y G-T) con 7.6% y 7.4%, respectivamente (Figura 7b). En el parámetro me gusta muchísimo destacan los tratamientos G-T y G-20 con 4.1% para ambos casos. Las características negativas que el panel atribuyó para el caso G-5 fueron: “sensación arenosa”, “poco cocida”, “se siente seca por fuera y algo húmeda por dentro”. En ningún caso se hizo señalamiento del color u olor, que representa la

aceptación inicial de los productos horneados; lo cual determinan también la finalización de la cocción. (Boyart *et al.*, 1998).

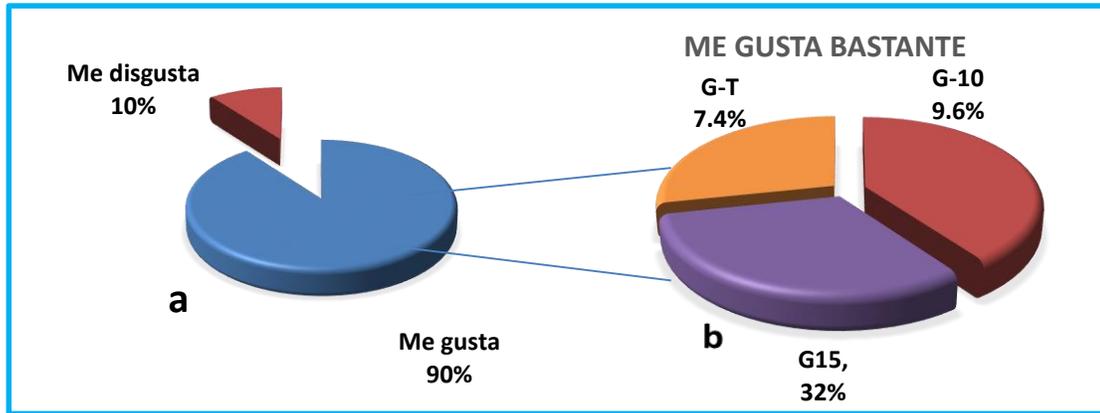


Figura 7 a) Clasificación de los 7 parámetros “me gusta” y “me disgusta”, b) parámetros con mayor aceptabilidad por los panelistas (me gusta bastante).

Estudios realizados en galletas con alto contenido proteico, preparadas con mezcla de harina, trigo, frijol mungo (*Phaseolus mungo*), y frijol (*Phaseolus aureus*) garbanzo (*Cicer arietinum*), demostraron que una sustitución superior a 15% afectó de manera negativa las propiedades de textura y de color (Singh *et al.*, 1993). Caso similar fue reportado en galletas suplementadas con 10 y 20% de aislado proteico de soya, atribuyendo la baja aceptabilidad al color y textura (menos crujiente) (Sobhy *et al.*, 2009). Caso contrario a lo encontrado en el presente trabajo, como se mencionó anteriormente la sustitución de 15% fueron las más aceptadas, en el parámetro “me gusta muchísimo”.

Químico proximal de pan para Pizza

La sustitución de harina desgrasada de *J. curcas* modificó los parámetros cuantificados en el análisis químico proximal (Cuadro 11). El contenido de humedad incrementó 10.56%, el de proteína 4.48%, el de lípidos 2.3%, el de cenizas 2.06%, mientras que el contenido de fibra se redujo 2.06%, esto con la sustitución de 20% de harina de *J. curcas*. El aumento en contenido de agua podría estar asociado al incremento en proteína, que provoca una mayor capacidad de retención de agua (Sobhy *et al.*, 2009). El incremento en lípidos se debe al porcentaje (1.44%) que retiene la harina de *J. curcas* después del desgrasado. Valores superiores en lípidos son descritos en la tabla nutrimental de pizzas DOMINOS con un 4.4%. Con respecto a fibra se observó que tienden en su mayoría a disminuir de 4.56% hasta 3.04%. La harina de *J. curcas* contiene calcio magnesio y potasio responsables del incremento en cenizas (Toral, 2008).

El incremento en proteína, en particular, el valor alcanzado (16%) al sustituir 20% de harina de *J. curcas*, es similar al reportado por Maldonado *et al.* (2005) al adicionar salvado de arroz (*Oryza sativa*) en 5 y 10% a la harina de trigo. Lo cual resulta muy superior al reportado (5.3%) en la tabla nutrimental de pizza FUD. Por lo que la harina de *J. curcas* es una buena fuente proteica, tal como lo señala Martínez *et al.* (2010^b).

Cuadro 11. Análisis químico proximal de pan para pizza.

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)
P-T	19.55±0.06 ^a	11.52±0.22 ^a	10.11±0.11 ^a	1.04±0.01 ^a	4.56±0.06 ^a
P-5	28.49±0.17 ^b	12.46±0.39 ^b	10.45±0.12 ^a	1.57±0.01 ^b	4.33±0.10 ^b
P-10	28.49±0.38 ^b	13.83±0.91 ^c	11.00±0.33 ^b	2.06±0.02 ^c	3.93±0.06 ^c
P-15	31.91±0.19 ^b	15.28±0.21 ^d	11.76±0.19 ^c	2.69±0.02 ^d	3.37±0.03 ^d
P-20	30.11±0.59 ^b	16.00±0.40 ^e	12.41±0.04 ^d	3.10±0.01 ^e	3.04±0.03 ^e

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Análisis sensorial

La aceptación de base de pan para pizza con adición de harina de *J. curcas* predominó en los rangos “me gusta muchísimo”, “me gusta bastante”, “me gusta ligeramente” (Figura 8). En general, 84% pertenece al conjunto de “me gusta” y el 16% al grupo “me disgusta” (Figura 9 a), donde sobresale el parámetro “me gusta bastante”, y la sustitución de 10% obtuvo el mayor valor (9.6%) de aceptación, seguido de 5 y 15 con un 7.17% para ambos casos (Figura 9 b).

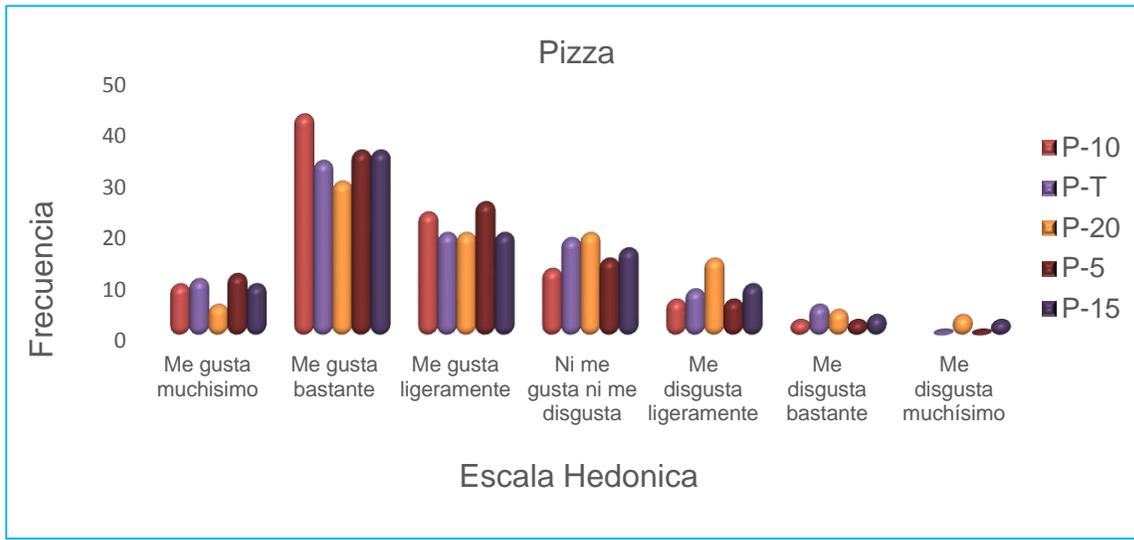


Figura 8. Grado de aceptabilidad de pan para pizza a base de harina de *J. curcas*, con diferentes % de sustitución.

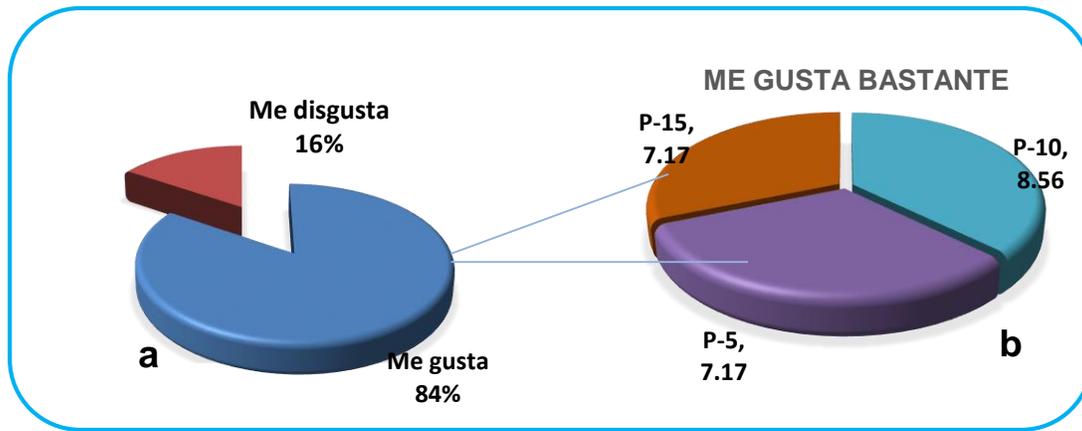


Figura 9. a) Clasificación de los 7 parámetros en “me gusta” y “me disgusta”, b) parámetro con mayor aceptación por los panelistas “me gusta bastante”

Es importante considerar que este trabajo resulta pionero en proporcionar información referente a la fortificación de pizzas, ya que no se encontraron estudios al respecto.

CONCLUSIONES

La harina desgrasada de *J. curcas* puede emplearse como sustituto para la fortificación de alimentos, esto en relación a su alto contenido en proteínas. Los estudios reológicos realizados a la harina de trigo, sustituida con harina de *J. curcas*, resultaron de gran utilidad para monitorear sus cambios a nivel estructural. Los resultados alveográficos y farinográficos, señalaron que las mezclas son clasificadas como “harinas de gluten suave”, por presentar las siguientes características: W menor a 290.78 $W \times 10^{-4}$ J, Tenacidad de 77.01 a 93.47 mm, y extensibilidad de 92.01 a 36.04 mm, además de un incremento de absorción de agua de 7.6%, y un tiempo óptimo de desarrollo de 2.50 a 3.53 minutos. Estos resultados fueron indicadores positivos para la elaboración de galletas y pan para pizza, el máximo contenido de proteína se obtuvo en niveles de sustitución al 15% y 20% respectivamente, mejorando así nutricionalmente estos productos. Es importante señalar que el contenido de humedad obtenido en las galletas es idóneo para su preparación y almacenamiento, no jugando un papel importante en el pan para pizza. El factor galletero reveló una aptitud galletera “muy buena” en todos los tratamientos. Sensorialmente se establece que a niveles de sustitución por debajo de 20% los productos fueron aceptados exitosamente ya que no se afectaron sus propiedades texturales.

LITERATURA CITADA

Anzaldúa M., A. 2005. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España, pp 67-69.

- Aziah N., A., A., A. Komathi, C. 2009.** Acceptability attributes of crackers made from different types of composite flour. *International Food Research Journal* 16: 479-482.
- Bayan A., O., S. Selma, H. Abdul, O, Dalia Z. 2012.** Effect of Addition of Germinated Lupin Flour on the Physiochemical and Organoleptic Properties of cookies. *Journal of Food Processing and Preservation* 37: 637-643.
- Bello P., L., A., P. Osorio D., E. Agama A., C. Núñez S. y O. Paredes L. 2002.** Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz. *Agrociencia* 36: 319-328.
- Chim R., A., J. López L., D. Betancur A. 2003.** Incorporación de fracciones de almidón primario y secundario de *Canavalia ensiformis* L. y *Phaseolus lunatus* L. en galletas. *Acta Científica Venezolana*. 54: 138-147.
- Cori de Mendoza M., E., E. Pacheco D., E. Sindoni. 2004.** Efecto de la suplementación de galletas dulces tipo oblea con harina desgrasada de girasol sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales. *Revista, Facultad Agronomía (Maracay)* 30: 119-122.
- Dachana K., B., J. Rajiv, D. Indrani, and J. Prakash. 2010.** Effect of dried moringa (moringa oleifera lam) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality* 33: 660–677
- Díaz L., I. Acevedo, y O García 2013.** Evaluación fisicoquímica de galletas con inclusión de harina de bleo (*amaranthus dubius mart*). *Revista. ASA* pp 5-23.
- El-Adawy T., A. 1997.** Effect of sesame seed protein supplementation on the nutritional, physical, chemical and sensory properties of wheat flour bread. *Food Chemistry* 59: 7-14.
- Güemes V., N., R. J. Peña B., C. Jiménez M., and G. Dávila. 2008.** Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivates and effect of

these derivatives on bread quality and acceptance. *Journal of Science of Food and Agriculture* 88: 1135-1143.

Kweon M., L. Slade, H. Levine, D. Gannon, 2014. Cookie- Versus Cracker-Baking What's the Difference Flour Functionality Requirements Explored by SRC and Alveography. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54:115–138.

Macías S., J. Binaghi M., A. Zuleta, P. Ronayne F, K. Costa, and S. Generoso 2013. Desarrollo de galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina de algarroba (*Prosopis alba*) y avena para planes sociales. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 4: 170-188.

Maghaydah S., S. Abdul H., R. Ajo, Y. Tawalbeh, N. Elshahoryi. 2013. Effect of Lupine Flour on Baking Characteristics of Gluten Free Cookies. *Advance Journal of Food Science and Technology* 5:600-605.

Maldonado R., E. Pacheco 2000. Elaboración de galletas con una mezcla de trigo y plátano verde. Instituto de Química y Tecnología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela 50: 387-393

Martínez C., E., E. Espitia R, H. E. Villaseñor M., J. D I. Molina G., I. Benítez R., A. Santacruz V., R. J. Peña B. 2010^a. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes. II. Relación con combinaciones de los loci glu-1 y glu-3. *Agrociencia* 44: 631-641.

Martínez H., J., A. L. Martínez A., H. Makkar., G. Francis, K. Becker, 2010^b. Agroclimatic Conditions, Chemical and Nutritional Characterization of Different Provenances of *Jatropha Curcas* L. from Mexico. *European Journal of Scientific Research*, 39: 396-407.

Martínez H., J., A. L. Martínez A., S. Evangelista L. 2008. La ciencia y el hombre en Revista de divulgación ciencia y tecnología de la Universidad Veracruzana. 21: 31-34.

MXDF, 2013. Infografía: El Consumo de Pizza en México. Cultura, eventos y rincones de la Ciudad de México. Dirección de noticias MX-DF.net. Disponible en <http://www.mx-df.net/>.

NMX-F-006-1983. Alimentos, galletas, food, cookie, Normas Mexicana. Dirección general de Norma. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-006-1983.PDF>

Official Methods of Analysis of AOAC (1990). International; Association of Analytical Chemist: Washington, D.C., USA,

Oliver J., R., M. Allen H 1992. The Prediction of Bread Baking Performance Using the Farinograph and Extensograph. Journal of Cereal Science 15: 79-89.

Peña B., R., J., P. Pérez, H. E. Villaseñor M., M. M. Gómez V., A. Mendoza M., R. Monterde G. 2007. Calidad de cosecha del trigo en México, Ciclo otoño-invierno 2005-2006. Publicación Especial del CONASIST. México D.F., 24 p

Po-Hsien L., H. Chien C., Y. Ming Y., R. W. Chiun C. 2012. Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour. Food Research International 47: 223–228.

Rababah T., M., A. Almahasneh M., I. Ereifej K. 2006. Effect of Chickpea, Broad Bean, or Isolated Soy Protein Additions on the Physicochemical and Sensory Properties of Biscuits. Journal of Food Science 71: 438-442.

Rodríguez S., E., A. Fernández Q., A. Ayala A. 2005. Reología y textura de masa: aplicaciones en trigo y maíz. Ingeniería e Investigación, 57: 72-78.

Rodríguez S., E., A. Lascano, G. Sandoval. 2012. Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. Revista. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 15: 199-207.

- Salazar Z., A. 2000.** Calidad industrial del trigo para su comercialización. En: Villaseñor, M H E y Espitia R E (eds). El Trigo de Temporal en México. SAGAR, INIFAP. Estado de México, pp 192-207.
- SAS Institute 2002.** SAS/TAT User' s Guide, Software versión 9.0. Caray, N.C.USA 4424 p.
- Sindhuja A., L. Sudha M. and A. Rahim. 2005.** Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. European Food Research Technology 221: 597–601
- Singh B., M. Bajaj, A. Kaur, S. Sharma, S. Sidhu J. 1993** Studies on the development of high-protein biscuits from composite flours. Plant Foods for Human Nutrition 43: 181-189.
- Sivaramakrishnan H., P., B. Senge, K .Chattopadhyay P. 2004.** Rheological properties of rice dough for making rice bread. Journal of Food Engineering 62: 37-45.
- Sobhy M., M., M. F. Hoda H., M. A. Bekhit., E. Amr E., S. A. Mohamad Y. 2009.** Effect of substitution of soy protein isolate on aroma volatiles, chemical composition and sensory quality of wheat cookies. International Journal of Food Science and Technology 44:1705–1712.
- Sudha M., L., K. Srivastava A., R. Vetrmani, and K. Leelavathi. 2007.** Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough rheology and biscuit quality. Journal of Food Engineering 80: 922-930.
- Sweta R., A. Kaur, and B. Singh 2014.** Quality characteristics of gluten free cookies prepared from different flour combinations. Journal Food Science Technology 51: 785–789.
- Toral O. 2008.** *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. Pastos y Forrajes. 31: 191.

CONCLUSIONES GENERALES

La mezcla de harina de trigo con harina de *J. curcas* resulto ser un buen vínculo para la fortificación de alimentos, esto con base en los resultados reológicos obtenidos en el alveógrafo y farinógrafo los cuales determinaron la aptitud panadera de acuerdo a la calidad de proteína o tipo de gluten presente en estas harinas. El comportamiento de acuerdo a la fuerza del gluten, alta tenacidad y baja extensibilidad de la masa, indica una harina de gluten suave haciendo posible su uso para la industria panadera. Esto se confirma con las variables respuestas encontradas en los farinogramas, indicando que la estabilidad y tiempo desarrollo para la formación de la masa caen dentro de los rangos de trigos de gluten suave, esto es buen indicador para la incorporación de esta harina en la elaboración de galletas y masa para pizza entre otros a niveles de sustitución no mayores del 15%.

En cuanto a la mezcla de harina de maíz con harina de *J. curcas* se estableció que la sustitución de esta oleaginosa no afecto reológicamente a las masas aceptando niveles de sustitución mayores al 20%, reflejando aumento en la cohesividad lo cual le confirió a la masa mejor firmeza esto ligado al proceso de retención de agua, disminuyendo la pegajosidad (adhesividad), estos resultados fueron idóneos para la elaboración de las tortillas. El análisis de punción o penetración a las tortillas indicó una disminución en la dureza proporcionándole mayor suavidad.

La variable cuantitativa para determinar el contenido proteico de las galletas, pan para pizza y tortilla aumento conforme incrementaba el contenido de harina de *J. curcas* alcanzando los máximos valores con la sustitución del 15% y 20%. En el caso de las

galletas el contenido de humedad, se encuentra dentro de los rangos idóneos para su elaboración industrial y en general en las tortillas y pan para pizza no influyó. Estos alimentos presentaron características de calidad (factor galletero, inflado, rolabilidad y color) similares al control (testigo). Sensorialmente los productos antes mencionados presentaron buena aceptación por el consumidor siendo el parámetro “me gusta” con más del 90% de aceptabilidad.