



Instituto Politécnico Nacional

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y
Tecnología Avanzada

Unidad Querétaro

Posgrado en Tecnología Avanzada

**Obtención de harinas instantáneas de sorgo
blanco por extrusión para la elaboración de
tortillas.**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Presenta:

Ing. Víctor Manuel Sánchez Núñez

DIRECTORES DE TESIS

Dr. Eduardo Morales Sánchez

Dra. Marcela Gaytán Martínez



Querétaro, Qro. Julio del 2014

Acta de revisión



SIP-14-bis

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Querétaro, Qro. siendo las 12:00 horas del día 23 del mes de Mayo del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA Unidad Qro. para examinar la tesis titulada:

“Obtención de harinas instantáneas de sorgo blanco por extrusión para la elaboración de tortillas”

Presentada por el alumno:

Sánchez
Apellido paterno

Núñez
Apellido materno

Víctor Manuel
Nombre(s)

Con registro:

B	1	2	0	7	1	0
---	---	---	---	---	---	---

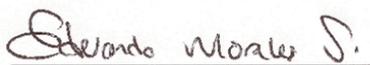
aspirante de:

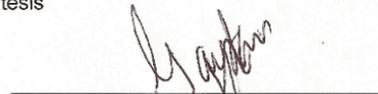
MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

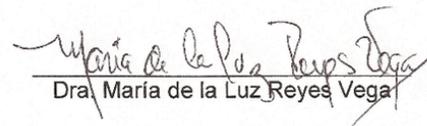
LA COMISIÓN REVISORA

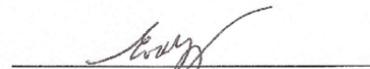
Directores de tesis


Dr. Eduardo Morales Sánchez


Dr. Marcela Gaytán Martínez


Dr. Gonzalo Velázquez de la Cruz


Dr. María de la Luz Reyes Vega


Dr. Eva González Jasso

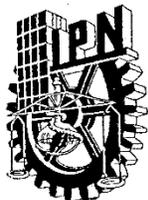
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. Eva González Jasso

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MEXICO

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIA APLICADA
Y TECNOLOGÍA AVANZADA
UNIDAD QUERÉTARO
DIRECCIÓN

Carta de cesión de derechos



*INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO*

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Querétaro el día 23 del mes mayo del año 2014, el que suscribe Ing. Víctor Manuel Sánchez Núñez alumno del Programa de Maestría en Tecnología Avanzada con número de registro B120710, adscrito a CICATA-IPN, Unidad Querétaro, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Eduardo Morales Sánchez y Dra. Marcela Gaytán Martínez y cede los derechos del trabajo intitulado **“Obtención de harinas instantáneas de sorgo blanco por extrusión para la elaboración de tortillas”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección victormn_sanchez@outlook.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. Víctor Manuel Sánchez Núñez

Dentro de 20 años estarás más decepcionado por las cosas que no hiciste que por las que hiciste. Así que suelta amarras, navega lejos de puertos seguros, coge los vientos alisios en tus velas. Explora.

Sueña. Descubre.

Mark Twain

Dedicatoria

Mi tesis la dedico con amor y cariño a mis padres...

A veces me preguntaba por qué mis padres no me daban lo que pedía, por qué no me compraban cosas, por qué no me daban más dinero. Pero lo que sí me dieron fueron cosas aún más importantes que me han sido de gran utilidad. Me enseñaron a ganarme la vida con mi propio esfuerzo, a no depender de ellos, a formar mi camino, a no darme por vencido, a ponerme metas y alcanzarlas, a llevarme bien con mis hermanos y ayudarlos siempre, nunca resolvieron mis problemas, al contrario me enseñaron a asumir mis responsabilidades y a aprender de mis errores. No lo hicieron solo con palabra si no con el ejemplo.

Espero algún día poder devolverles un poco de lo mucho que han hecho por mí.

Agradecimientos

Al Dr. Eduardo Morales Sánchez, por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, por su paciencia, por sus consejos, su apoyo, por compartir sus conocimientos y sobre todo por la confianza brindada.

A la Dra. Marcela Gaytán Martínez, por estar siempre al pendiente de mi trabajo, por su apoyo, orientación, y por motivarme hacer siempre las cosas de una mejor manera.

Dr. Gonzalo Velázquez, gracias por haber sido parte de mi comité tutorial, por sus comentarios en cada revisión, por su apoyo en la escritura de tesis, por sus consejos y su amistad.

A la Dra. María de la Luz Reyes, por todo el apoyo que me brindo desde el momento que entré al posgrado, por todos sus conocimientos y sus sugerencias que me hizo en el escrito de la tesis.

Dra. Eva González, gracias por haber aceptado ser parte de mi comité tutorial, y por sus comentarios siempre tan atinados.

Al Dr. Reynaldo Pless por aceptar ser parte de mi comité revisor.

Quiero agradecer también a los compañeros que me ayudaron en la parte técnica: al Ing. Ángel Cabrera, a la M en T. A. Brenda Contreras, a la Ing. Carmen Martínez, a la M en .C. Estefany Galaz y a la Ing. Karla González.

A los grandes amigos que conocí en la cabina 2 y que me acompañaron durante este tiempo: Ray, Charly, Saulito, Robert, Rosy, Dany, Dulce, Javi, Ángel, Fati y Pablito.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado durante estos dos años.

Del mismo modo se agradece al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACyT - Gobierno del Estado de Tamaulipas por el apoyo brindado para realización de la investigación a través del Proyecto FOMIX Tamaulipas 186247.

Índice de contenido

ACTA DE REVISIÓN.....	I
CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS	II
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO 1 . INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2 . MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 EL SORGO	3
2.1.1 Generalidades.....	3
2.1.2 Importancia y producción.....	4
2.1.3 Precio del grano de sorgo a nivel nacional.....	6
2.1.4 Composición física del grano de sorgo.....	7
2.1.5 Composición química del grano de sorgo.....	10
2.2 EXTRUSIÓN.....	16
2.2.1 Tipos de los extrusores.....	17
2.2.2 Factores que influyen en la extrusión.....	18
2.2.3 Aplicación de la extrusión en alimentos.....	19
2.3 HARINAS INSTANTÁNEAS NIXTAMALIZADAS	20
CAPÍTULO 3 . JUSTIFICACIÓN.....	22
CAPÍTULO 4 . OBJETIVOS	23
4.1 OBJETIVO GENERAL	23
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
CAPÍTULO 5 . MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1 MATERIA PRIMA	24
5.2 LIMPIEZA DEL GRANO	24
5.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO	25
5.3.1 Dimensiones del grano.....	25
5.3.2 Índice de flotación.....	25
5.3.3 Peso hectolítrico	26
5.3.4 Peso de mil granos (PMG).....	27
5.3.5 Humedad del grano	27
5.3.6 Color del grano	27
5.4 OBTENCIÓN DE HARINA CONTROL POR EL PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACIÓN	28
5.5 OBTENCIÓN DE HARINA COCIDA POR EXTRUSIÓN	29
5.6 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE HARINAS OBTENIDAS POR EL PROCESO TRADICIONAL Y POR EXTRUSIÓN	29
5.6.1 Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)	29
5.6.2 Viscosidad de las harinas	30
5.6.3 Humedad.....	31

5.6.4	Color.....	32
5.6.5	pH de harinas	32
5.7	CARACTERIZACIÓN DE MASAS OBTENIDAS POR EL PROCESO TRADICIONAL Y POR EXTRUSIÓN	33
5.7.1	Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS).....	33
5.7.2	Rendimiento de la masa.....	33
5.7.3	Adhesión y cohesión en masa.....	33
5.8	ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TORTILLAS OBTENIDAS POR LAS HARINAS POR EL PROCESO TRADICIONAL Y POR EXTRUSIÓN.....	34
5.8.1	Elaboración de las tortillas	34
5.8.2	Inflado de la tortilla	35
5.8.3	Pérdida de peso en tortillas durante la cocción (PP).....	35
5.8.4	Rendimiento de tortilla	36
5.8.5	Rolabilidad	36
5.8.6	Tensión de las tortillas	36
5.8.7	Resistencia al corte	36
5.8.8	Color de las tortillas	37
5.9	CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DE LAS HARINAS	37
5.9.1	Determinación de proteína.....	37
5.9.2	Determinación de cenizas	37
5.9.3	Determinación de extracto etéreo.....	38
5.9.4	Determinación de fibra cruda.....	38
5.10	DETERMINACIÓN DE TANINOS CONDENSADOS Y FENOLES TOTALES DE HARINAS	38
5.11	ANÁLISIS SENSORIAL DE TORTILLAS OBTENIDAS POR EXTRUSIÓN	40
5.12	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
CAPÍTULO 6 . RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		42
6.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO	42
6.2	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE HARINAS OBTENIDAS POR EXTRUSIÓN	43
6.2.1	Viscosidad y color de las harinas	43
6.2.2	Humedad, pH, ISA e IAA	46
6.3	CARACTERIZACIÓN DE MASAS OBTENIDAS POR EXTRUSIÓN	49
6.4	CARACTERIZACIÓN DE TORTILLAS OBTENIDAS POR EXTRUSIÓN	51
6.4.1	Pérdida de peso, inflado, rolabilidad, rendimiento de tortilla y humedad	51
6.4.2	pH, color y fuerza a la tensión y corte	53
6.5	SELECCIÓN DE LAS HARINAS PARA LA REALIZACIÓN DE ANÁLISIS SEÑORIAL	55
6.6	CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DE LAS HARINAS	56
6.7	DETERMINACIÓN DE TANINOS CONDENSADOS Y FENOLES TOTALES EN HARINAS	57
6.8	ANÁLISIS SENSORIAL	58
6.8.1	Nivel de agrado	58
6.8.2	Prueba de preferencia.....	59
CAPÍTULO 7 . CONCLUSIONES		61
CAPÍTULO 8 .TRABAJO FUTURO		62
CAPÍTULO 9 . BIBLIOGRAFÍA.....		63
CAPÍTULO 10 . ANEXOS.....		69

Índice de Figuras

FIGURA 1. PLANTA DE SORGO.....	3
FIGURA 2. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE SORGO.....	5
FIGURA 3. A) PORCENTAJE DE SUPERFICIE SEMBRADA. B) PORCENTAJE DE SUPERFICIE COSECHADA. C) PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN. LAS TRES GRAFICAS MUESTRAN PORCENTAJES A NIVEL NACIONAL.	6
FIGURA 4. ESTRUCTURA DEL GRANO DE SORGO.....	7
FIGURA 5. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN EXTRUSOR.....	16
FIGURA 6. GRANO UTILIZADO PARA LA EXPERIMENTACIÓN.....	24
FIGURA 7. CRITERIOS DE MEDICIÓN DEL GRANO.....	25
FIGURA 8. GRANOS FLOTANTES EN LA SOLUCIÓN DE NITRATO DE SODIO.....	26
FIGURA 9. PESO HECTOLÍTRICO.....	26
FIGURA 10. COLORÍMETRO UTILIZADO.....	27
FIGURA 11. NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE SORGO.....	28
FIGURA 12. MOLINO NIXTAMATIC.....	28
FIGURA 13. MOLINO PULVEX 200.....	29
FIGURA 14. REÓMETRO ANTON PAAR Y GRAFICAS DE VISCOSIDAD.....	31
FIGURA 15. DE LADO IZQUIERDO: COLORÍMETRO UTILIZADO. LADO DERECHO: DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE LECTURA EN LA CAJA PETRI.....	32
FIGURA 16. TEXTURÓMETRO Y SONDA DE MEDICIÓN.....	34
FIGURA 17. ELABORACIÓN DE TORTILLAS Y MAQUINA TORTILLADORA.....	34
FIGURA 18. INFLADO DE LAS TORTILLAS.....	35
FIGURA 19. VISCOAMILOGRAMAS DE EFECTO DE LA TEMPERATURA DE PROCESO SOBRE LA VISCOSIDAD... 45	45
FIGURA 20. EFECTO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DE PROCESO SOBRE EL ISA.....	47
FIGURA 21. EFECTO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DE PROCESO SOBRE EL IAA.....	48
FIGURA 22. GRAFICA DE NIVEL DE AGRADO.....	59
FIGURA 23. RESULTADOS DE PREFERENCIA.....	60

Índice de Tablas

TABLA 1. PRECIOS DEL GRANO DE SORGO Y DE MAÍZ EN LAS CUATRO PRINCIPALES CENTRALES DE ABASTO DEL PAÍS.....	6
TABLA 2. COMPARACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE 100 G DE VARIOS CEREALES A UNA HUMEDAD DE 12%.....	10
TABLA 3. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS EN EL GRANO DE SORGO Y MAÍZ.....	12
TABLA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE SORGO Y SUS PARTES ANATÓMICAS.....	14
TABLA 5. APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA EXTRUSIÓN.....	20
TABLA 6. MUESTRAS ANALIZADAS CON SU RESPECTIVA CLAVE.....	40
TABLA 7. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	41
TABLA 8. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO.	42
TABLA 9. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DE HARINAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	43
TABLA 10. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DE HARINAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	46
TABLA 11. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DE MASAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	49
TABLA 12. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DE TORTILLAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	51
TABLA 13. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DE TORTILLAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	53
TABLA 14. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON CONTROL MEDIANTE ANÁLISIS DE DUNNETT.	55
TABLA 15. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DE HARINAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	56
TABLA 16. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LA DETERMINACIÓN DE TANINOS CONDENSADOS Y FENOLES TOTALES DE HARINAS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY.	57
TABLA 17. ANOVA MODIFICADO POR KRUSKAL WALLIS PARA PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO.	59
TABLA 18. ANOVA MODIFICADO POR KRUSKAL WALLIS.	60

Resumen

En México el sorgo es el segundo cereal más importante, solo por debajo del maíz. Su uso está encaminado principalmente a la elaboración de alimentos balanceados para animales (SIAP, 2003). La composición química del sorgo es muy similar a la del maíz (Leder, 2004), además de que cuenta con ventajas agronómicas como resistencia a la sequía y requiere de menor consumo de agua para su crecimiento y por ende menor estrés hídrico. La extrusión es un proceso termo-mecánico recientemente utilizado para obtener harinas de maíz nixtamalizadas principalmente debido a que presenta ventajas en comparación al proceso tradicional de nixtamalización, como: menor consumo de agua, consumo de energía más eficiente y no produce efluentes contaminantes. El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo obtener harinas instantáneas de sorgo blanco por el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas. Para esto se caracterizaron harinas, masas y tortillas obtenidas por dicho proceso y un control elaborado por nixtamalización tradicional, además se realizó un análisis sensorial de las tortillas para conocer la aceptación de las mismas. Se utilizó un diseño de experimentos 2x2x3 por duplicado, donde los parámetros usados fueron: velocidad de tortillo (10 y 20 rpm), humedad (50 y 60%) y temperatura de procesamiento (80, 90 y 100°C). Los resultados mostraron que la temperatura fue la variable de proceso que más influyó sobre las variables analizadas. Los resultados de viscosidad máxima de harinas mostraron valores de 1532 a 2235.4 cP los cuales fueron más cercanos a los del control cuando se trataron a 60 % de humedad y 100 °C de temperatura independientemente de la velocidad de tornillo que se utilice; para los resultados de índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua, la temperatura fue la única que mostro diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores más altos de capacidad de absorción de agua subjetiva de las masas se obtuvieron a temperaturas de 100°C, esto se ve reflejado en las características de tortilla; las masas más suaves se lograron a una velocidad de tornillo de 10 rpm y 100°C de temperatura. Los mejores resultados de tortilla, al igual que en las caracterizaciones anteriores se obtuvieron cuando las muestras se trataron a 100°C. En el análisis sensorial los jueces concluyeron que la muestra más aceptada fue la realizada con las siguientes condiciones: 10 rpm, 60% de humedad y 100°C; la cual resultó más cercana en su nivel de aceptación a la muestra control (nixtamalización).

Abstract

In Mexico the sorghum is the second most important grain, just below the corn. Its use is aimed primarily at the development of balanced food for animals (SIAP, 2003). The chemical composition of this grain is very similar to that of the corn (Leder, 2004), in addition to that it has agronomic advantages in comparison, such as: it supports more drought and requires less water consumption for its growth and therefore less hydric stress. The extrusion is a thermal process recently used to obtain nixtamalized flour because this technique has some advantages in comparison to the traditional nixtamalization process, such as: less water consumption, more efficient energy consumption and it doesn't produce effluent contaminants. The objective of this research was to get instant white sorghum flour by extrusion process for tortillas elaboration. For this, flours, dough and tortillas obtained by this process were characterized in pair with a traditionally elaborated control by nixtamalization, a sensorial analysis of the tortillas was also conducted in order to know the acceptance of the product. A 2x2x3 by duplicated design of experiments was implemented, the used parameters were: screw speed (10 and 20 rpm), moisture (50 and 60 %) and processing temperature (80 °C, 90 °C and 100 °C). The results showed that the temperature was the process variable that influenced the most on the analyzed variables. The maximum flour viscosity results showed values of 1532 to 2235.4 cP which were closer to those of the control when it was attempted a 60% moisture and 100 °C of temperature regardless of the used screw speed; for the water absorption index results and water solubility index, only the temperature showed significant differences ($p \leq 0.05$). The highest values of dough's subjective water capacity were obtained at 100° C temperatures, this is reflected in the tortilla's characteristics; most soft dough were achieved at a 10 rpm screw speed and 100° C temperatures. The best tortilla results, like in the previous characterizations were obtained when samples were treated at 100° C. In sensorial analysis judges concluded that the most accepted sample, was the one with the following conditions: 10 rpm, 60% humidity, and 100° C; which resulted in the closest acceptance level, similar to the control sample (nixtamalization).

Capítulo 1 . Introducción



El sorgo es el quinto cereal más importante a nivel mundial, solo por debajo del trigo, arroz, maíz y cebada, esta importancia está dada por su producción y utilización, además de presentar importantes ventajas agronómicas en comparación de otros cereales. Su principal uso está encaminado especialmente a la elaboración de alimentos para animales y en los últimos años en países desarrollados como Estados Unidos se está utilizando para la producción de bioetanol, en algunos países de África y en la India se utiliza principalmente para la alimentación humana en platillos típicos de esas regiones como papillas, pan, bebidas alcohólicas o no alcohólicas y botanas, entre otros.

En México su uso está orientado a la fabricación de alimentos balanceados para animales. Actualmente se están haciendo investigaciones para el aprovechamiento de este grano y así abrir nuevos mercados.

Estudios anteriores han demostrado que el contenido químico de este grano es parecido al de otros cereales como el arroz, trigo y en especial al maíz. Por lo cual es posible incorporarlo a la dieta humana.

En este trabajo se investigó la posibilidad de elaborar harinas instantáneas de sorgo blanco por el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas. Para esto se realizaron diversos experimentos con un diseño factorial totalmente aleatorio, las variables de proceso fueron: Tamaño de partícula, humedad y temperatura.

Las harinas instantáneas obtenidas se compararon con harinas elaboradas por el proceso tradicional de nixtamalización, realizándoles caracterizaciones

fisicoquímicas, tanto a las harinas como a las masas obtenidas por estos dos procesos y por último se elaboraron tortillas las cuales se caracterizaron y evaluaron sensorialmente.

Esta tesis está dividida por capítulos; en el capítulo 2 se aborda el marco teórico donde se habla de los temas principales, comenzando por hablar de los aspectos generales del sorgo, su composición física, química y su importancia socioeconómica. Del mismo modo se abordan algunas generalidades del proceso de extrusión y por último se trata el tema del proceso de nixtamalización. La justificación del trabajo se encuentra en el capítulo 3, esta se centra en las ventajas del proceso de extrusión sobre la nixtamalización tradicional, así como, la posibilidad de incorporar al sorgo en la dieta en forma de tortillas. El capítulo 4 comprende los objetivos generales y específicos, teniendo la finalidad de definir el alcance de la tesis. El capítulo 5 abarca los materiales y métodos, aquí se encuentra de manera ordenada la metodología seguida, comenzando con la materia prima utilizada, las técnicas, el principio de cada una de ellas y por último el diseño de experimentos y el análisis estadístico. A continuación en el capítulo 6 se describen los resultados de la parte experimental y se discuten dichos. El capítulo 7 finaliza el escrito con las conclusiones a las que se llegó.

Capítulo 2 . Marco Teórico



2.1 El sorgo

2.1.1 Generalidades

Es una planta originaria de la India, de la familia de las gramíneas (*Poaceae*) y su nombre científico es *Sorghum bicolor* L. Moench. Con cañas de un metro y medio de altura, llenas de un tejido blanco y algo dulce y vellosas en los nudos; hojas lampiñas, ásperas en los bordes; flores en panoja floja, grande y derecha, o espesa, arracimada y colgante, y granos mayores que los cañamones, algo rojizos, blanquecinos o amarillos (SIAP, 2003).

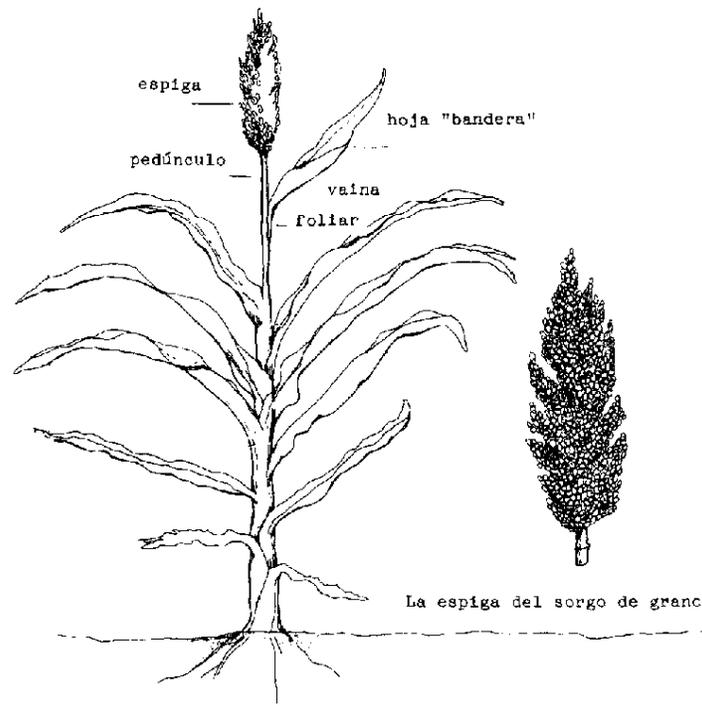


Figura 1. Planta de sorgo.

El sorgo es el segundo grano en importancia después del maíz en México. Su importancia radica en que constituye 50% de la materia prima en la formulación de alimentos balanceados destinados a la producción pecuaria (Martínez *et al.*, 2012).

Este cultivo posee muchas ventajas en comparación con otros granos como lo son: a) Resistencia a sequía b) Resistencia a calor c) Amplio rango de adaptación a diferentes ambientes d) Variabilidad genética alta. También el grano posee cualidades como: Fácil trilla, resistencia a insectos, buena cocción, excelente sabor y un contenido nutricional importante,

Investigaciones anteriores han demostrado que es posible utilizar este grano para la elaboración de varios productos como pan, tortillas chips, tortillas, galletas, chapatas y fideos (Liu *et al.*, 2011).

2.1.2 Importancia y producción

El sorgo ocupa el quinto lugar entre los cultivos de cereales más importantes en el mundo en términos de producción y utilización solo detrás del trigo, arroz, maíz y cebada (Singh, 2011). Se trata de un importante grano que sirve como alimento humano en África y en partes de India y China. La producción mundial del sorgo en el año 2007/08 fue de 63.26 millones de toneladas de los cuales Estados Unidos fue el principal productor con 12.64 millones de toneladas (19.98%) seguido por India con 10 millones de toneladas (15.81%), Nigeria 7.93 millones (12.54%), México con 6.20 millones (9.8%) y Sudán con una producción de 4.5 millones de toneladas (7.11%) del total de la producción, en conjunto estos países suman un 78.9 % de la producción mundial total (Figura 2).

Cerca del 90% del sorgo que se produce en Estados Unidos se utiliza para la producción de alimento para animales y el 10% restante para la producción de etanol (Chuck, 2009), sin embargo en años más recientes se ha incrementado el porcentaje de granos utilizado para esta industria. En países de África y en la India se usa principalmente para la alimentación humana en productos como pan, papillas y bebidas alcohólicas. En México al igual que en Estados Unidos se utiliza principalmente para la elaboración de alimentos balanceados para animales.

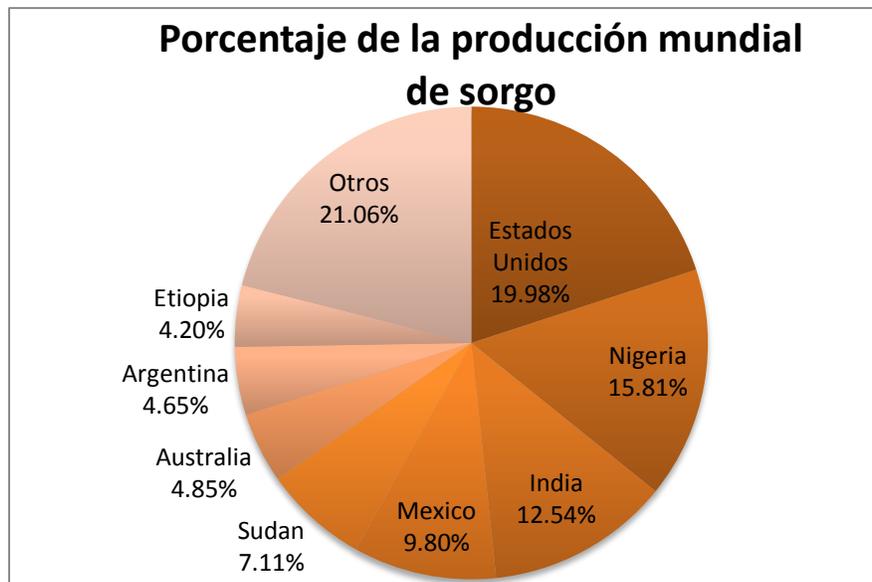


Figura 2. Producción mundial de sorgo. Fuente: <http://www.agrostats.com/world-statistic/world-sorghum-production.html>

Actualmente este grano se cultiva en casi todas las entidades federativas del país, en el año 2011 su producción anual fue de 6.42 millones de toneladas pero presenta un alto grado de concentración identificándose dos zonas productoras importantes: el Estado de Tamaulipas como primer productor a escala nacional, seguido por la zona del Bajío, constituida por los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán, y en menor escala Sinaloa y Nayarit (SIAP, 2011).

De acuerdo con el SIAP en el 2011 Tamaulipas, Guanajuato y Sinaloa fueron los principales productores a nivel nacional con un 30.25%, 21.16% y 19.98% respectivamente, lo que significa 4.5 millones de toneladas, después le sigue, Michoacán, Nayarit, Morelos y Jalisco con un porcentaje de producción de 8.99%, 4.72%, 2.80% y 2.12% respectivamente.

Estas zonas en conjunto aportan al nivel de año agrícola alrededor del 88 por ciento de la superficie sembrada, el 87 por ciento de la cosechada y alrededor del 90 por ciento de la producción total del país (Figura 3).

En el estado de Tamaulipas la superficie destinada a la agricultura está ocupada principalmente para la producción de sorgo con un 61%.

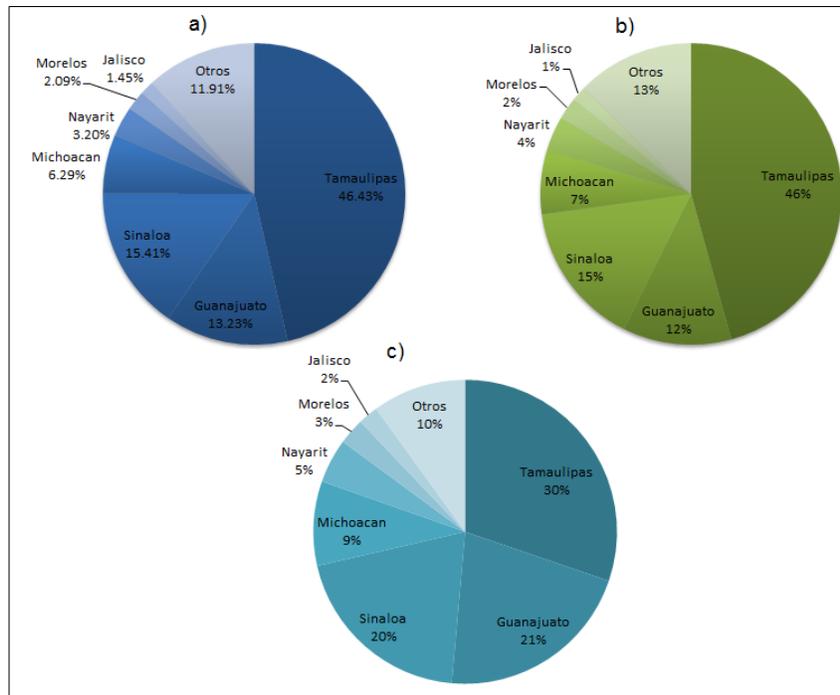


Figura 3. a) Porcentaje de superficie sembrada. b) Porcentaje de superficie cosechada. c) Porcentaje de producción. Las tres graficas muestran porcentajes a nivel nacional. Fuente: Datos de SIAP-SAGARPA 2011

2.1.3 Precio del grano de sorgo a nivel nacional

Tabla 1. Precios del grano de sorgo y de maíz en las cuatro principales centrales de abasto del país.

Producto	Precio mínimo (\$/Ton)	Precio máximo (\$/Ton)	Precio promedio (\$/Ton)
Guanajuato			
Sorgo	4,260.00	4,280.00	4,270.00
Maíz blanco	4,420.00	4,450.00	4,435.00
Nuevo León			
Sorgo	4,080.00	4,400.00	4,240.00
Maíz blanco	5,000.00	5,000.00	5,000.00
Jalisco			

Sorgo	3,650.00	3,830.00	3,740.00
Maíz blanco	4,500.00	4,700.00	4,600.00
San Luis Potosí			
Sorgo	4,150.00	4,200.00	4,175.00
Maíz blanco	4,500.00	4,550.00	4,525.00

Fuente: SNIIM, 2013

En la Tabla 1 se muestran los precios del grano de sorgo y de maíz en las cuatro principales centrales de abasto del país en el mes de Abril del 2013, la diferencia es en promedio del 12 % menos el precio del sorgo.

2.1.4 Composición física del grano de sorgo

El grano de sorgo es una carióspside en la cual la pared del ovario se seca y se adhiere fuertemente al óvulo maduro. Está compuesto de tres partes principales: la cubierta exterior llamada pericarpio, el tejido de almacenamiento o endospermo y el embrión o germen (Ramírez *et al.*, 1984).

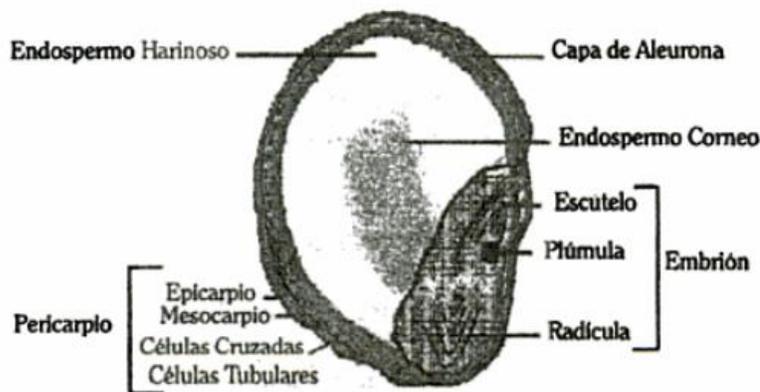


Figura 4. Estructura del grano de sorgo

2.1.4.1 Pericarpio

El pericarpio es el elemento estructural más externo de la cariopsis y se compone de tres subcapas: el epicarpio, el mesocarpio y el endocarpio. El epicarpio se subdivide en epidermis e hipodermis. En la cariopsis del sorgo, la epidermis se

compone de células gruesas, alargadas y rectangulares que tienen un revestimiento cutínico en la superficie exterior. En la epidermis, a menudo está presente un pigmento. La hipodermis se compone de células ligeramente más pequeñas que la epidermis y tiene de una a tres capas de células de espesor (FAO, 2005).

El mesocarpio y la parte media es la capa más gruesa del pericarpio del sorgo pero su espesor varía desde unas pocas células remanentes, sin almidón, de aspecto delgado y translúcido, hasta varias capas de células conteniendo gránulos de almidón que le dan un aspecto grueso y feculoso, esto varía mucho entre los distintos genotipos. La resistencia del sorgo al moho está asociada con un mesocarpio delgado. Los granos con mesocarpio grueso con un endospermo duro se prefieren para el descascarado en el machacado manual (Ramírez, 1984., FAO, 1995).

El endocarpio, que es la subcapa más interna del pericarpio se compone de células transversales y de una capa de células tubulares que transportan la humedad al grano. En la molienda del sorgo en seco, el rompimiento ocurre en las capas de las células transversales y tubulares. Son también el punto de fracturación al quitar el pericarpio, llamado salvado en la terminología molinera, durante la molienda seca del grano (Ramírez, 1984., FAO, 1995).

2.1.4.2 Revestimiento de la semilla o testa

Algunos híbridos con el pericarpio grueso poseen una capa gruesa de células llamada testa que se encuentra justo debajo del endocarpio y es conocida también como revestimiento de la semilla. En algunos genotipos de sorgo la testa está muy pigmentada. El espesor de la capa de testa no es uniforme. Es espesa cerca de la zona de la corona del grano y delgada cerca de la parte del embrión. La testa fue originalmente el integumento interno y tenía una estructura definida. Sin embargo, a medida que la semilla madura y el endospermo se expande, la antigua configuración celular da lugar a una capa continua. La pigmentación de la testa se

relaciona con una concentración elevada de polifenoles o taninos (Ramírez, 1984., FAO, 1995).

2.1.4.3 Endospermo

El mayor componente del grano es el endospermo, que es un importante tejido de almacenaje. Se compone de una aleurona y de zonas periférica, de textura córnea y harinosa. En todos los sorgos y mijos, la aleurona es una única capa que está inmediatamente debajo del revestimiento de la semilla o teste. Las células de la aleurona son ricas en minerales, vitaminas B, aceites y también contienen algunas enzimas hidrolizantes (FAO, 1995).

El endospermo periférico es un área poco definida ubicada directamente debajo de la capa de aleurona. Consta de células densamente agrupadas, que contienen pequeños gránulos de almidón y que pueden estar situados entre las primeras dos a seis capas de células del endospermo. Los gránulos de almidón están sumergidos en una densa matriz proteica compuesta principalmente de glutelinas y prolaminas. Estas últimas se encuentran localizadas predominantemente en cuerpos proteicos inmersos en la matriz (Rooney y Murty, 1982).

El endospermo córneo está situado debajo del endospermo periférico. Contiene gránulos de almidones muy angulares o poliédricos, con depresiones donde los cuerpos proteicos están atrapados. La unión del almidón y la proteína es fuerte, por lo que esta región tiene una consistencia dura y una apariencia vítrea (Ramírez, 1984).

El área del endospermo harinoso contiene células poco agrupadas con pequeños vacíos entre los gránulos esféricos de almidón. La matriz proteica existente está distribuida en delgadas láminas discontinuas sobre la superficie de estos gránulos, Los cuerpos proteicos están presentes en menor proporción que en otras regiones del grano (Rooney y Murty, 1982).

2.1.4.4 Germen

Las dos partes principales del germen son el eje embriónico y el escutelo. El escutelo es un tejido de almacenamiento, rico en lípidos, proteínas, enzimas y minerales. En el mijo perla, la proporción entre de germen y endospermo es mayor que en los granos de sorgo y de otros mijos. El aceite presente en el germen de sorgo es rico en ácidos grasos polinsaturados y análogo al aceite de maíz (FAO, 1995).

2.1.5 Composición química del grano de sorgo

El contenido en la composición química del sorgo es muy similar a la de otros cereales como el trigo, arroz, maíz y mijo (Tabla 2). Sin embargo existe una mayor similitud con la composición química del maíz.

Tabla 2. Comparación en la composición química de 100 g de varios cereales a una humedad de 12%.

Cereal	Trigo	Arroz	Maíz	Sorgo	Mijo
Proteína (g)	11.6	7.9	9.2	10.9	11
Grasa (g)	2.0	2.7	4.6	3.2	5.0
Carbohidratos (g)	71	76	73	73	69
Fibra cruda (g)	2.0	1.0	2.8	2.3	2.2
Cenizas (g)	1.6	1.3	1.2	1.6	1.9
Calcio (mg)	30	33	26	27	25
Hierro (mg)	3.5	1.8	2.7	4.3	3.0
Tiamina (mg)	0.405	0.413	0.378	0.300	0.3
Niacina	5.05	4.31	3.57	2.83	2.0
Riboflavina (mg)	0.101	0.043	0.197	0.138	0.15

Fuente: Leder (2004)

La composición química de los cereales incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales y varía dependiendo del híbrido y de las condiciones ambientales bajo las cuales se haya producido el grano (Porter, 2000).

2.1.5.1 Carbohidratos

El almidón es el principal polisacárido del grano de sorgo (Tabla 4) el cual está compuesto aproximadamente de 25% de amilosa y 75% de amilopectina, mientras que la pentosa, celulosa y hemicelulosa se encuentran en bajas concentraciones.

El sorgo es una buena fuente de fibra, principalmente de fibra insoluble. La fibra dietética insoluble de sorgo puede disminuir el tiempo de tránsito y evitar problemas gastrointestinales.

2.1.5.2 Proteínas

El contenido de proteína varía según el genotipo, disponibilidad de agua, fertilidad del suelo y condiciones ambientales durante el desarrollo del grano. El contenido proteico del sorgo es usualmente de 11.5-12.5% (Tabla 2) del grano entero pero algunas veces estos valores son más altos (Leder, 2004).

Las prolaminas (kafirinas) conforman la principal fracción de proteína en el sorgo haciendo hasta 70-80% de la proteína total del endospermo (Hamaker et al., 1995), seguidas por las glutelinas.

Los estudios *in vitro* e *in vivo* con ganado y animales de laboratorio, indican que las proteínas de sorgo en general son menos digeribles que los demás cereales (Hamaker *et al.*, 1995).

Tabla 3. Contenido de aminoácidos en el grano de sorgo y maíz.

Aminoácido (g)	Sorgo (RB Paloma)	Maíz
Ac. Aspártico	0.77	--
Ac. Glutámico	2.20	--
Serina	0.43	--
Histidina	0.16	0.190
Glicina	0.36	0.330
Treonina	0.43	0.340
Arginina	0.43	0.052
Alanina	0.84	--
Tirosina	0.33	--
Valina	0.47	0.420
Metionina	0.07	0.170
Fenilalanina	0.50	0.440
Isoleucina	0.39	0.370
Leucina	1.22	1.000
Lisina	0.23	0.220
Prolina	0.43	--
Cistina	0.57	0.130
Triptofano	0.87	0.090
Total	9.83	--
% P.C.B.S	10.71	--
% Digestibilidad	87.44	--

Nota: Aminoácidos encontrados en 100 g de muestra en base seca

Fuente: INIFAP, 2010. (b), Allen, 1993)

Los valores de digestibilidad del sorgo blanco son más altos si se compara con los reportados para sorgos de color obscuro. Se puede deber principalmente a la poca o nula presencia de taninos en estos genotipos y probablemente a la distribución de las kafirinas en el almidón del grano, haciendo que el efecto nutricional de este genotipo sea elevado.

Los dos granos tienen en su composición todos los aminoácidos esenciales sin embargo el contenido de estos es mayor en el grano de sorgo excepto en el contenido de histidina y triptófano.

2.1.5.3 Lípidos

El contenido de grasa cruda del sorgo es aproximadamente del 3% en promedio, el cual es más alto que el del trigo y el arroz. La composición de ácidos grasos es similar a la del aceite de maíz, con altas concentraciones de ácido linoleico (49%), oleico (31%) y palmítico (14%). Al igual que el maíz, el contenido de energía del sorgo es alto (Leder, 2004).

El grano de sorgo contiene cerca de 1.5 ppm de carotenoides totales. Aparte del maíz y el trigo duro, el sorgo es el único cereal que contiene una cantidad importante de β -caroteno, la provitamina de la vitamina A, la cual es importante en la nutrición humana.

2.1.5.4 Vitaminas y minerales

El sorgo es una fuente importante de vitamina B (excepto B₁₂), y una buena fuente de tocoferoles. Las vitaminas B y los minerales están concentrados en la capa de aleurona y en el germen. La remoción de estos tejidos por decorticación conduce a un producto refinado de sorgo que ha perdido parte de estos nutrientes. Se considera una buena fuente de potasio y está prácticamente exento de sodio; los granos enteros son buenas fuentes de magnesio, hierro, zinc y cobre.

La germinación, decorticación y la fermentación mejoran el valor nutricional del sorgo provocando cambios significativos en la composición química y la eliminación de factores anti-nutricionales.

Tabla 4. Composición química del grano de sorgo y sus partes anatómicas.

Componente	Grano entero (%)	Endospermo (%)	Embrión (%)	Pericarpio (%)
Grano entero	100	84.2	9.4	6.5
Rango	---	81.7-86.5	8.0-10.9	4.3-8.7
Proteína	12.3	10.5	18.4	6.0
Rango	11.5-12.3	8.7-13.0	17.8-19.2	5.2-7.6
Grasa	3.6	0.6	28.1	4.9
Rango	---	0.4-0.8	26.9-30.6	3.7-6.0
Almidón	73.8	82.5	13.4	34.6
Rango	72.3-75.1	81.3-83.0	---	---
Cenizas	1.6	0.4	10.4	2.0
Rango	1.6-1.7	0.3-0.4	---	---

Fuente: Pioneer Hi-Bred International, Inc.

2.1.5.5 Componentes fitoquímicos del sorgo

El sorgo contiene varios fitoquímicos (incluyendo compuestos fenólicos, esteroides vegetales y policosanoles) que son metabolitos secundarios de las plantas o componentes celulares. Los fenoles ayudan en la defensa natural de plantas contra plagas y enfermedades, mientras que los esteroides vegetales y policosanoles son en su mayoría de componentes de cera y aceites vegetales. Los fitoquímicos han ganado interés debido a su actividad antioxidante, propiedades de disminuir el colesterol y otros beneficios potenciales para la salud (Awika y Rooney, 2004).

Los fenoles en sorgos se enmarcan en dos categorías principales; los ácidos fenólicos y flavonoides. Los ácidos fenólicos son derivados del ácido benzoico o del cinámico, mientras que los flavonoides incluyen taninos condensados y antocianinas como los constituyentes más importantes aislados del sorgo hasta la fecha.

- **Taninos condensados**

Los taninos condensados son el fitoquímico más importante en la composición del grano, estos compuestos confieren algunas ventajas como resistencia al moho y el deterioro del grano, además protegen al grano contra insectos, aves y ataque de hongos, esta ventaja agronómica se acompaña con desventajas nutricionales y reducción en la calidad alimenticia.

Los taninos del sorgo se sabe que inhiben enzimas, como las amilasas. Sin embargo, se ha sugerido que el efecto antinutricional de los taninos radica en su capacidad de formar complejos menos digeribles con la dieta de las proteínas y no por la inhibición de enzimas digestivas.

A pesar de lo anterior, los taninos solo están presentes en sorgos que contienen la testa pigmentada (según su clasificación solo los tipos I y II), (Awika y Rooney, 2004), lo que significa que los granos de sorgo blanco están libres de taninos.

- **Ácidos fenólicos**

Todos los sorgos contienen ácidos fenólicos, los cuales están localizados principalmente en el pericarpio, testa, capa de aleurona y endospermo. Los ácidos fenólicos se dividen en dos clases: hidroxicinámico e hidroxibenzoico (Dykes y Rooney, 2006).

Los ácidos fenólicos han demostrado una buena actividad antioxidante *in vitro* y por lo tanto puede contribuir significativamente a los beneficios para la salud asociados con el consumo de este grano. En variedades de sorgo blanco y la mayoría de otros cereales que normalmente tienen niveles muy bajos de flavonoides, los enlaces con los ácidos fenólicos son una fuente importante de antioxidantes (Awika y Rooney, 2004).

- **Flavonoides**

Las antocianinas han sido ampliamente estudiadas en las frutas y hortalizas debido a sus propiedades antioxidantes y su potencial como colorante alimenticio natural, sin embargo, los datos reportados para cereales son limitados, probablemente porque estos no son considerados como una fuente comercial.

Las antocianinas son la clase principal de flavonoides estudiados en sorgo. En general esta clase de compuestos contribuyen a la formación de colores azules, morados y rojos en las plantas. Las seis antocianinas más comunes son: cianidina, delphinidina, malvidina, pelargonidina, petunidina y peonidina (Dykes y Rooney, 2006). Las antocianinas más comunes en el sorgo son las 3-deoxiantocininas (Awika y Rooney, 2004)

2.2 Extrusión

La extrusión es uno de los procesos más comunes e importantes utilizados para el formado de polímeros. Además, este proceso se aplica a los metales blandos, al caucho, a los productos alimenticios de origen vegetal, particularmente cereales, leguminosos y oleaginosos, no solo para darle una forma específica, sino simplemente para cocerlos o acondicionarlos para que tengan un mejor valor nutrimental (Haller, 2007).

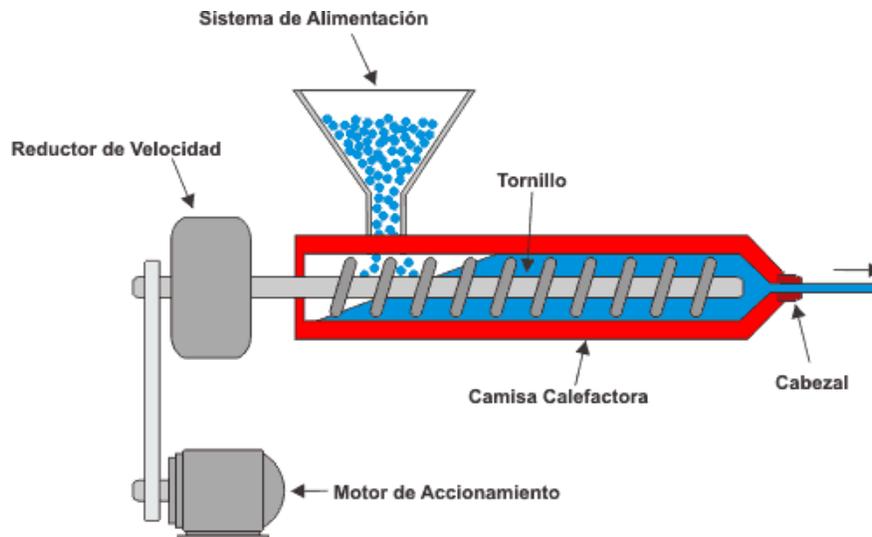


Figura 5. Representación esquemática de un extrusor.

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándola a pasar por una boquilla

de una geometría dada y con un caudal másico pre-establecido. La palabra extrusión proviene del latín *extrudere* (Haller, 2007).

Según Callejo (2002) define la extrusión como “el moldeado o conformación de una sustancia blanda o plástica mediante tratamiento por calor y fuerzas de corte y fricción mecánicas, hasta hacerla pasar por un orificio con forma especial para conseguir una estructura y características del producto terminado”.

Este proceso, está considerado como un proceso limpio y muy eficiente en términos de uso de energía, generalmente ahorra espacio, mano de obra y la compra de otros equipos. Las funciones básicas de un extrusor son las de mezclar, formar y cortar la pasta de manera continua. En la extrusión termoplástica se combinan el calor y esfuerzos mecánicos que propician la gelatinización y dextrinización de los gránulos de almidón, la destrucción de compuestos antinutricionales, la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida de anaquel de los productos (Martinez, 1993; Yáñez, 2005).

El proceso de extrusión se utiliza para manufacturar una gran variedad de alimentos como cereales, botanas, alimentos precocidos para bebés, alimentos instantáneos, harinas pregelatinizadas, proteínas texturizadas, dietas para animales domésticos y en los últimos años en la elaboración de harinas nixtamalizadas (Yáñez, 2005).

2.2.1 Tipos de los extrusores

El extrusor es una máquina para moldear materiales por el proceso de cambio de presión y calor, un extrusor consta principalmente de un tornillo de Arquímedes con aletas helicoidales adheridas a su alrededor, con rotación corta, en un cilindro hueco (Mujica *et al.*, 2006).

De acuerdo al número de tornillos que lo componen, los extrusores se pueden clasificar: extrusor de un tornillo o tornillo simple y extrusor de doble tornillo o tornillos gemelos (Sánchez, 2007).

2.2.1.1 Extrusor de tornillo simple

Básicamente, estos extrusores constan de un eje metálico central con álabes helicoidales (tornillo), instalado dentro del cuerpo del extrusor (barril o cañón), con tres zonas básicas: zona de alimentación, de fusión y una tercera zona como salida a alta presión. Los extrusores de tornillo simple son más baratos y más fáciles de manejar y reparar que los tornillos gemelos (Xie *et al.*, 2006; Harper, 1989).

2.2.1.2 Extrusores de tornillos gemelos

Éste tipo de extrusores se caracteriza por su sentido de rotación (giran en sentidos opuestos), en el interior del cañón «en forma de ocho». Este tipo de movimiento de rotación, mejora el mezclado del material.

Los extrusores de doble tornillo han sido utilizados principalmente como rectores para la modificación de biopolímeros (Duin *et al.*, 2001; Carr, 1994).

2.2.2 Factores que influyen en la extrusión

Existen dos factores que influyen principalmente sobre la naturaleza del producto extrudido, estos son: las condiciones durante la extrusión y las propiedades reológicas del alimento en cuestión.

Dentro de los parámetros durante la extrusión están: temperatura, presión, diámetro de los orificios de la boquilla y la velocidad de tornillo que depende de la forma del tornillo así como del diseño interno del cilindro del extrusor.

Las características del material a extrudir influyen sobre la textura y el color del producto, las más importantes son: el contenido de agua, el estado físico de los componentes y la composición química, es decir, el contenido de almidón, proteína y grasa (Revelo, 2010).

Es importante que el funcionamiento del extrusor sea estable, esto permite la obtención de un producto uniforme con las características deseadas. Pequeños cambios en algunas de las variables pueden generar grandes cambios en el producto terminado. Entre las variables a controlar están: humedad, contenido de grasa, flujo de alimentación, aditivos en la mezcla, modificador de pH o emulsificantes en la formulación (Revelo, 2010).

2.2.3 Aplicación de la extrusión en alimentos

Los procesos de extrusión-cocción han sido difundidos como una de las tecnologías apropiadas para elaborar alimentos de interés social (Tabla 5).

Para tal fin es utilizada en la elaboración de mezclas de cereales y leguminosas precocidas, aptas no sólo para preparar sopas crema, papillas, atoles, etc., sino también botanas enriquecidos, para meriendas escolares y proteína vegetal texturizada (González *et al.*, 2002).

En el proceso de extrusión, los parámetros importantes para la calidad del producto incluyen el contenido de humedad del material, el tiempo de residencia (el cual es influenciado por el rango de alimentación, la velocidad y la configuración del tornillo), geometría de la boquilla, temperatura y presión. Los atributos sensoriales de los extrudidos dependen en gran medida de las variables relacionadas con el equipo y de las características del material crudo (Chen *et al.*, 1991).

Para el caso de extrusores monotornillos, las variables de extrusión más importantes para el grado de cocción, son la humedad, temperatura, diámetro de la boquilla y la relación de compresión del tornillo. En general, el grado de cocción incrementa al aumentar la temperatura y la relación de compresión y al disminuir la humedad y el diámetro de la boquilla. El efecto de la velocidad de rotación del tornillo no es tan claro, debido a que ésta afecta tanto al tiempo de residencia como al gradiente de velocidad impuesto al fluido. Una mayor velocidad de rotación se traduce en un menor tiempo de residencia, y por tanto un menor grado de cocción,

pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma, distribución del tamaño de partícula, etc.), como el nivel de fricción alcanzado, que a su vez depende de la presión y humedad (González *et al.*, 2002).

Tabla 5. Aplicaciones industriales de la extrusión

Aplicación Industrial	Ejemplos	
Procesado de cereales	Alimentación humana	Cereales para desayuno, aperitivos, alimentos infantiles
	Alimentación animal	Alimento para pescados, alimento para mascotas
Elaboración de dulces	Chicles, mazapán, caramelos, barras de frutas y chocolates	
Industria Cárnica	Proteínas vegetales texturizadas	
Industria Láctea	Proteínas texturizadas, procesado de queso y helados	
Ingredientes	Sabores Maillard, almidones modificados, nutracéuticos	

Fuente: Revelo, 2010

2.3 Harinas instantáneas nixtamalizadas

La Norma Oficial Mexicana define como harina nixtamalizada de maíz al producto deshidratado que se obtiene de la molienda de los granos del maíz nixtamalizado, (NOM-247-SSA1-2008); esto puede ser aplicable a cualquier grano, el cual haya sido sometido a una cocción alcalina, con posterior deshidratación y molienda.

Las principales características que debe de tener una harina de maíz nixtamalizada son las siguientes; Sensorialmente debe de cumplir con los siguientes aspectos: color blanco amarillento o correspondiente al color de la variedad de grano usado; olor característico, no debe presentar aroma a rancidez u otro olor extraño; sabor, característico con ausencia de sabores extraños; aspecto granuloso Aspecto: Debe ser granuloso con una finura tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz (NMX-F-046-S-1980).

El proceso de nixtamalización (del náhuatl *nixtli*, que significa “cenizas” o “cal” y *tamalli*, que quiere decir masa) es de gran importancia en Mesoamérica y aún más en México al tratarse del proceso utilizado para la obtención de la tortilla la cual es la base de la alimentación en este país. Los principios de esta técnica iniciaron hace ya más de 3500 años (Figueroa, 2004).

Este proceso es uno de los más comunes donde se emplea el maíz como materia prima. Sin embargo, la mayoría de las personas que las elaboran utilizan conocimientos empíricos que le han sido transmitidos probablemente de generaciones anteriores y no se tiene un control en las proporciones de los ingredientes que se adicionan (Bressani *et al.*, 2001).

El proceso para la obtención de la masa comienza con la selección del grano, el grano se elige dependiendo de su dureza, entre mayor sea la dureza, se requerirá mayor tiempo de remojo y cocción (Arámbula *et al.*, 2001) lo que implica un mayor gasto de energía y tiempo para obtener la masa.

Posteriormente se continúa con la nixtamalización; este proceso consiste en el remojado y cocimiento del grano en una solución alcalina utilizando generalmente para 1 kg de maíz 3 litros de agua, la concentración de cal recomendada es del 1%. El grano se cuece con la finalidad de suavizar el pericarpio para poder retirarlo del grano y tener más disponibles los nutrientes (Shahai *et al.*, 1999). El agua restante después de la cocción se denomina nejayote y se desecha con el lavado.

Una de las grandes desventajas que presenta el proceso de nixtamalización es el excesivo gasto de energía y tiempo que se requiere para su obtención, además de los altos requerimientos de agua, misma que es desechada al final del proceso, lo cual ocasiona serios problemas de contaminación al suelo y agua.(Arambulla *et al.*, 2001).

Capítulo 3 . Justificación



México se encuentra dentro de los 5 principales productores de sorgo en el mundo con una producción mundial anual de 6.42 millones de toneladas; siendo el estado de Tamaulipas el principal productor a nivel nacional, seguido por Guanajuato y Sinaloa. Este grano ocupa el quinto lugar en producción a nivel mundial solo por debajo del trigo, arroz maíz y cebada; en México ocupa el segundo lugar solo después del maíz.

De acuerdo con la FAO (1995), el sorgo es más tolerante a la sequía en comparación con otros cereales, ya que requiere de poca cantidad de humedad durante su crecimiento y por lo tanto presenta rendimientos aceptables en condiciones donde otros cultivos no lo hacen. La composición química del sorgo es similar a la de otros cereales y principalmente a la del maíz (Leder, 2004).

Se han realizado estudios por parte del INIFAP (2010), de elaboración de tortillas de sorgo blanco por el proceso tradicional de nixtamalización, donde se ha reportado que es posible obtener tortillas con características fisicoquímicas y sensoriales semejantes a las de maíz.

Esta investigación se centrará en obtener harinas instantáneas de sorgo blanco por el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas y evaluar su viabilidad en cuanto a sus características físicas, químicas y sensoriales determinando si es posible incorporarlas a la dieta humana.

Capítulo 4 . Objetivos



4.1 Objetivo general

Obtener harinas instantáneas de sorgo blanco por el proceso de extrusión que permitan preparar tortillas.

4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar física y químicamente el grano de sorgo blanco.
2. Obtener harinas de sorgo blanco por extrusión y por el proceso tradicional de nixtamalización.
3. Caracterizar fisicoquímicamente las harinas, masas y tortillas obtenidas por ambos procesos.
4. Comparar las tortillas elaboradas por extrusión contra proceso tradicional de nixtamalización y seleccionar los mejores tratamientos.
5. Analizar sensorialmente tortillas elaboradas por las harinas obtenidas por extrusión y el proceso tradicional.
6. Evaluar bromatológicamente las harinas que presenten las mejores condiciones para la elaboración de tortillas.

Capítulo 5 . Materiales y métodos



5.1 Materia prima

Se utilizó sorgo blanco variedad RB-Paloma primera cosecha 2012, donado por el campo experimental Rio Bravo del INIFAP-Tamaulipas.



Figura 6. Grano utilizado para la experimentación.

5.2 Limpieza del grano

El sorgo se limpió en una malla metálica con una abertura 250 μm con la finalidad de eliminar sorgo dañado, basura y cualquier tipo de contaminación física; además se realizó una selección manual para separar granos en mal estado (podridos o manchados), granos dañados (brotados, calcinados, con carbón, helados, fermentados, etc.), presencias de materia extraña y sorgos no graníferos. Esta metodología fue descrita en NORMA Argentina XVIII. SORGO GRANÍFERO, sección 6.1.1., n.d.

5.3 Caracterización física del grano de sorgo

5.3.1 Dimensiones del grano

Se determinaron las medidas del largo, ancho y grosor en muestras de 10 granos, esta prueba se realizó por quintuplicado. Se utilizó un Vernier manual (Mitutoyo Stainless Hardened, México) con una precisión de 0.02mm. Los resultados se expresaron en mm (Mauricio *et. al.*, 2004).

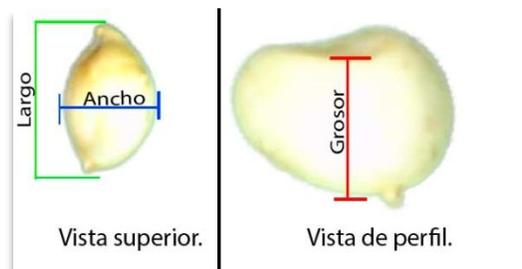


Figura 7. Criterios de medición del grano.

5.3.2 Índice de flotación

Se empleó la técnica descrita por la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, la cual mide indirectamente la dureza del grano.

Se empleó una solución de nitrato de sodio, a una densidad de 1.250 g/ml (+/- 0.001 g/mL), medida con un picnómetro. Se controló la temperatura a 22°C - 23°C, empleando un volumen de 300 mL - 350 mL, contenidos en un vaso de 600 mL.

Se tomaron 100 granos limpios, se vertieron en la solución de nitrato de sodio previamente preparada, separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, se agitó y se esperó un minuto para tomar la lectura. El número de granos que ascendieron a la superficie se usó como el índice de flotación.



Figura 8. Granos flotantes en la solución de nitrato de sodio.

5.3.3 Peso hectolítrico

En un recipiente cilíndrico con un volumen conocido en litros, se colocaron los granos hasta que el espacio interior quedó ocupado en su totalidad por el sorgo, se rasó el recipiente. Se pesó la cantidad de granos contenidos en éste y se dividió entre el volumen del recipiente. Esta prueba se realizó por triplicado, (método 84-10, AACC, 2000). El peso hectolítrico se reportó como kilogramos sobre hectolitro (kg/hL).



Figura 9. Peso hectolítrico.

5.3.4 Peso de mil granos (PMG)

Un total de 1000 granos escogidos al azar fueron pesados en una balanza analítica (TP-214A, Denver Instrument GmbH. U.S.A), esta prueba se realizó por triplicado, los resultados se expresaron en gramos.

5.3.5 Humedad del grano

La técnica para la medición de humedad consistió en someter la muestra a un secado por estufa a 105 °C durante 24 h. En un material previamente seco (40°C durante 24 horas) y pesado (método 44-16 AACC, 1995), la prueba se realizó por triplicado. La humedad se determinó por diferencia de peso.

5.3.6 Color del grano

Se realizó la determinación del color con un colorímetro (Precise color Reader, HP-200. Zhejiang top instrument Co., Ltd. China.), se colocó el grano de sorgo en una caja Petri, se rasó para obtener una superficie plana. El colorímetro se calibró previamente con los mosaicos blanco y negro. Se tomaron lecturas en los puntos Norte, Sur, Este, Oeste y centro de la caja Petri. La lectura se dio en el espacio de colores L, a y b.



Figura 10. Colorímetro utilizado.

5.4 Obtención de harina control por el proceso tradicional de nixtamalización

Para la obtención de la harina por el proceso tradicional de nixtamalización, la cual se utilizó como control, se mezclaron 300 g de sorgo limpio con 900 mL de agua; primeramente se calentó el agua a 90 °C, cuando alcanzó esta temperatura se agregó 1 % de cal (calculado en base al peso del grano) y se agitó, una vez disuelta la cal se vertió el sorgo y se dejó hervir por 20 min. Posteriormente se dejó reposar por 12 h, pasado este tiempo se separó el sorgo cocido del agua de desecho (nejayote) y se lavó dos veces con dos litros de agua en cada lavada para eliminar todo el nejayote restante.



Figura 11. Nixtamalización del grano de sorgo.

Una vez obtenido el grano nixtamalizado se molió en un molino de nixtamal (Nixtamatic, Mexico. D.F) y posteriormente se secó en una estufa de secado de aire forzado (Binder FD-53 UL 0589453, Alemania) a 50 °C por 24 h. La harina seca se molió en un molino de café hasta alcanzar un tamaño de partícula igual a 250 μm (malla No. 60).



Figura 12. Molino Nixtamatic.

5.5 Obtención de harina cocida por extrusión

Se molió sorgo blanco variedad “RB Paloma” previamente limpiado con un molino Pulvex usando una malla de 1.3 mm (Pulvex-200, martillos Pulvex, S.A de C.V., México, D.F.).



Figura 13. Molino PULVEX 200.

El acondicionamiento de las harinas se hizo mezclando el sorgo molido, el porcentaje de cal y la humedad (siguiendo un diseño de experimentos); en primer lugar se mezcló el porcentaje de cal con la harina de sorgo durante tres minutos con el fin de que se incorporara de manera homogénea, posteriormente se adicionó el % de humedad requerido y se mezcló de nueva cuenta por tres minutos.

Una vez obtenida la mezcla se procesó por el extrusor (desarrollado en CICATA-IPN unidad Querétaro), donde se aplicaron las demás variables de procesamiento: velocidad de tornillo y temperatura.

5.6 Caracterización fisicoquímica de harinas obtenidas por el proceso tradicional y por extrusión

5.6.1 Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Para esta caracterización se utilizó la técnica reportada por Anderson *et al.* (1969). Para cada muestra se pesaron 2.5 g (en base seca) de ambas harinas y se colocaron en tubos de polipropileno de 50 mL (tarados previamente), se adicionó un

total de 40 mL de agua destilada. Posteriormente los tubos fueron colocados a baño maría a una temperatura de 30 °C durante 30 minutos, la temperatura en el agua se mantuvo con ayuda de una parrilla eléctrica (Thermolyne, modelo SP46925, Barnstead, Iowa, U.S.A), se realizó agitación cada 5 minutos. Posteriormente los tubos se centrifugaron (Rotofix 32 A, Hettich Lab Technology, Alemania) a 3000 rpm durante 10 minutos, el sobrenadante fue colocado en las charolas taradas, las que se colocaron en la estufa de secado de aire forzado (Binder FD-53 UL 0589453, Alemania) a 105 °C por 24 h. Pasada las 24 h se pesó el residuo y el precipitado restante en los tubos de propileno. Estas técnicas permiten conocer la cantidad de agua incorporada la harina y el porcentaje de sólidos solubles en el agua. Los índices se calcularon con las siguientes formulas:

Cálculo del índice de absorción de agua:

$$IAA = \frac{P_c}{P_s - P_e}$$

Cálculo del índice de solubilidad en agua:

$$\% ISA = \frac{P_e}{P_s} * 100$$

Dónde:

%ISA= Porcentaje de índice de solubilidad en agua.

IAA= Índice de absorción de agua (g de gel/g harina).

P_c= peso del residuo de centrifugación (g de gel).

P_s= Peso seco de la muestra (g de harina base seca).

P_e= Peso del residuo de evaporación (g).

5.6.2 Viscosidad de las harinas

Esta caracterización se realizó con un reómetro Anton Paar (modelo MCR 101., Anton Paar., Austria) con perfil de RVA.

Se pesaron 3 g de cada muestra y se adicionaron 18 mL de agua destilada. El programa que se usó fue el siguiente: Un minuto a 50°C, después un incremento de 5.6 °C por min (7.5 min) hasta 92°C, se mantuvo la temperatura durante 5 min y

posteriormente disminuyó hasta 50°C a la misma velocidad para mantenerse por 1 min. El tiempo total de prueba fue de 23 min. Durante el desarrollo de la prueba, la computadora registra automáticamente la viscosidad en Centipoises (Cp). Para la interpretación de resultados se obtuvo una curva de viscosidad (gelatinización-retrogradación) llamada viscoamilograma y de ella se obtuvieron los valores de temperatura inicial de gelatinización, viscosidad inicial, pico de viscosidad máxima, viscosidad final y viscosidad de retrogradación.

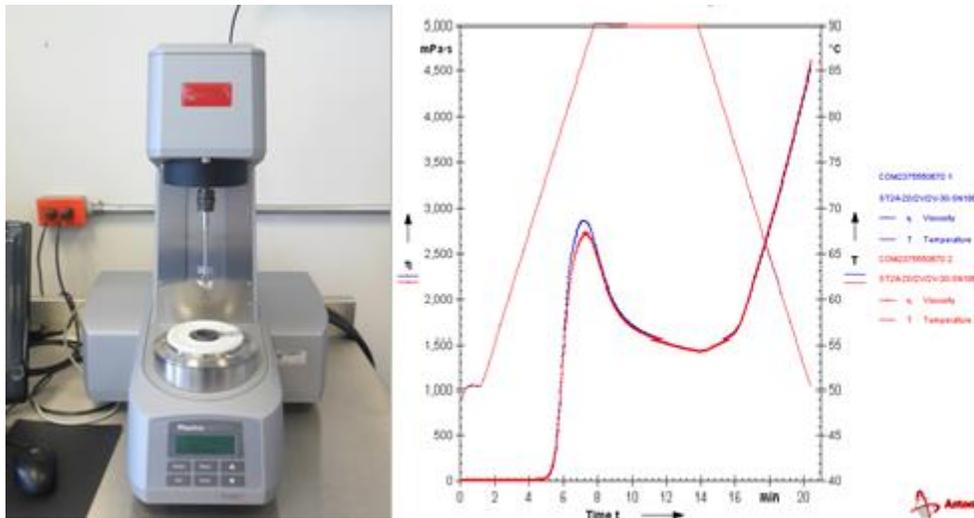


Figura 14. Reómetro Anton Paar y graficas de viscosidad.

5.6.3 Humedad

La técnica de medición de humedad consistió en someter la muestra a un secado por estufa a 110 °C durante 24 h. En un material previamente seco (110°C durante 1 hora), se pesó la muestra inicial y después de las 24 horas se volvió a pesar, por diferencia de pesos empleando la ecuación correspondiente se obtuvo el porcentaje de humedad (método 44-16AACC, 1995); la prueba se realizó por triplicado.

Ecuación de % humedad:

$$\% H = \left(\frac{P_i - P_f - P_r}{P_i} \right) * 100$$

Dónde:

% H= porcentaje de humedad

Pi = Peso inicial de la muestra (g)

Pf = peso final de la muestra seca (g)

Pr = Peso del recipiente (g)

5.6.4 Color

Se realizó la determinación del color con un colorímetro (Precise color Reader, HP-200. Zhejiang top instrument Co., Ltd. China.). Colocando en una caja Petri la harina hasta rasar la superficie y así obtener una superficie plana. El colorímetro se calibró previamente con los mosaicos blanco y negro. Se tomaron lecturas en los puntos Norte, Sur, Este, Oeste y centro de la caja Petri. La lectura se reportó en el espacio de colores L, a y b.



Figura 15. De lado izquierdo: Colorímetro utilizado. Lado derecho: Distribución de los puntos de lectura en la caja Petri.

5.6.5 pH de harinas

Se mezclaron 5 g de la harina con 45 mL de agua destilada a temperatura ambiente durante 15 min y posteriormente se dejó reposar por 30 min. El pH se midió con un potenciómetro (modelo 310. PerpHect., Thermo Scientific, U.S.A). El método a utilizar fue el 02-52 de la AACC (2000).

5.7 Caracterización de masas obtenidas por el proceso tradicional y por extrusión

5.7.1 Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)

Se pesaron 50 g de harina, las muestras se colocaron en charolas de aluminio, posteriormente se adicionó agua a 24°C incorporándola lentamente, mediante un amasado constante; este proceso se realizó hasta obtener una masa homogénea y consistencia adecuada, se tomó una porción de la masa y se comprimió con las yemas de los dedos esperando que no se formaran grietas. Cuando la masa presenta aun grietas se sigue incorporando agua, la ausencia de éstas es indicativo de que la masa tiene consistencia adecuada (Flores, 2002). La prueba se realizó por duplicado, reportándose como mL de agua gastados por cada gramo de harina.

5.7.2 Rendimiento de la masa

El rendimiento de masa se calculó con el valor obtenido de CAAS, sumándole una unidad al mismo, el valor se reporta como kg de masa/ kg de harina (Arámbula Villa, 1999).

5.7.3 Adhesión y cohesión en masa

Para la determinación de estas propiedades se utilizó un texturómetro (Texture Analyzer modelo TA Plus., Loyd Instrument AMETEK Inc., England) mediante el software Nexygen plus. Para esto se tomó una pequeña porción de la masa y se moldeó en un anillo de plástico de 53.62 mm de diámetro y 19.0 mm de altura. Posteriormente se colocó la masa moldeada en la plataforma del equipo, la masa fue penetrada mediante una sonda metálica con 12.66 mm de diámetro. Los parámetros de medición de la prueba que se utilizaron fueron: velocidad de 2 mm/s, 4 mm de distancia (penetración) y 4 repeticiones, quedando registrada la fuerza requerida para lograr la penetración (cohesión) así como la resistencia a la salida de la sonda (adhesión) esta metodología se realizó según lo reportado por Martínez Flores *et al.* (1998).

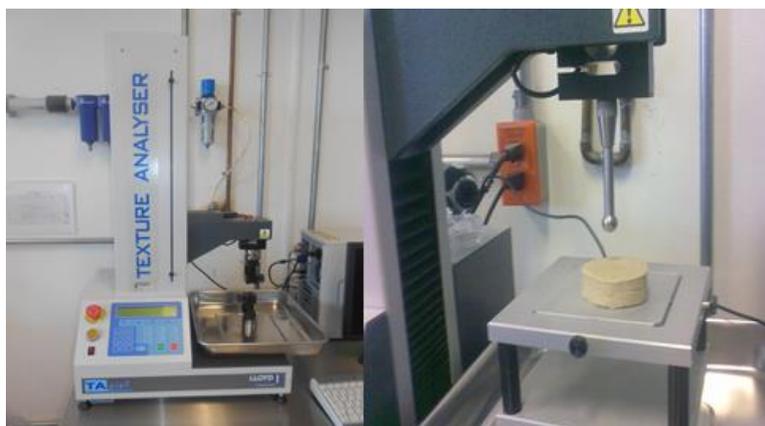


Figura 16. Texturómetro y sonda de medición.

5.8 Elaboración y caracterización de tortillas obtenidas por las harinas por el proceso tradicional y por extrusión

5.8.1 Elaboración de las tortillas

La elaboración de las tortillas se realizó en una maquina tortilladora manual, las dimensiones de las tortillas y el procesamiento se hizo según lo reportado por Gaytán (2011). Las tortillas tuvieron un espesor de 1.8 mm y 12.5 cm de diámetro, el cocimiento se llevó a cabo en un comal de fierro calentado a $270 \pm 10^{\circ}\text{C}$ con tiempos de cocción de 17 s para formar la capa delgada, 50 s para formar la capa gruesa y nuevamente se volteó por otros 17 s para permitir el inflado. Se midió el tiempo con un cronometro y se elaboraron 10 tortillas para cada tratamiento.



Figura 17. Elaboración de tortillas y maquina tortilladora.

5.8.2 Inflado de la tortilla

Para evaluar el grado de inflado en las tortillas se analizaron 3 tortillas al azar de cada tratamiento al momento de elaborarlas, se evaluó la formación de la ampolla durante el cocimiento de la tortilla. Se dieron tres calificaciones de acuerdo a la escala siguiente: 1=100% de inflado, 2=al 50% y 3=no presentó inflado. Las tortillas con calificaciones de 1 fueron las mejores por que retienen más humedad, tienen más suavidad y mejor textura (Figueroa *et.al.*, 2001).



Figura 18. Inflado de las tortillas.

5.8.3 Pérdida de peso en tortillas durante la cocción (PP)

Este parámetro se refiere a la pérdida de peso que sufre la tortilla al momento de la cocción y se determinó pesando la tortilla antes y después de cocerla; se mantuvo en una bolsa de plástico para evitar pérdida de peso adicional (Arámbula *et al.*, 1999), la fórmula utilizada para calcularlo es la siguiente.

$$\%PP = \frac{\text{Peso de tortilla cruda} - \text{Peso de tortilla cocida}}{\text{Peso de tortilla cruda}} * 100$$

5.8.4 Rendimiento de tortilla

El rendimiento de tortilla se calculó en función del RM y pérdida de peso de ésta durante el cocimiento mediante la siguiente formula:

$$RT = RM \left(1 - \frac{\%PP}{100}\right)$$

Donde; *RT* es el rendimiento de tortilla (kg de tortilla/kg de masa), *RM* es el rendimiento de la masa (kg de masa/kg de harina) y *PP* es la pérdida de peso (%) (Arámbula *et al.*, 1999).

5.8.5 Rolabilidad

Esta prueba se realizó de forma subjetiva según lo reportado por Figueroa *et al.*, (2001). Se realizó 30 min después de ser elaboradas las tortillas. Para ello se tomaron 3 tortillas completas al azar y se enrollaron con una varilla de vidrio de 2 cm. El grado de enrollamiento se determinó con una escala que va de 1 a 5, donde 1 corresponde al 0% de ruptura, 2 de 1 a 25 %, 3 de 26 a 50 %, 4 de 51 a 75% y 5 de 76 a 100% de ruptura.

5.8.6 Tensión de las tortillas

Esta prueba se realizó simulando la fuerza requerida por las manos para cortar la tortilla. Se evaluaron 3 tortillas de cada tratamiento elegidas al azar, cortándolas de la parte central utilizando un molde de lámina de forma “I” cuyas dimensiones son 8.6 cm de largo por 3.7 cm de ancho. Esta prueba se realizó con el accesorio “TG 34” (Texture Analyzer modelo TA Plus., Loyd Instrument Ametek Inc., England) el cual consta de unas pinzas donde se colocó el trozo de tortilla sometándolo a tensión hasta el rompimiento.

5.8.7 Resistencia al corte

Este parámetro se utiliza para simular la fuerza de corte de los dientes durante el masticado, se utilizó el texturometro (Texture Analyzer modelo TA Plus., Loyd

Instrument Ametek Inc., England). Se realizó con las dos partes resultantes de la prueba anterior sometiéndolas transversalmente al corte. Para esta prueba se utilizó un accesorio el cual consta de una cuchilla de 3mm de espesor y 69.3mm de ancho que se desplaza hacia abajo y pasa a través de la ranura de una placa de aluminio hasta que el material se corta.

5.8.8 Color de las tortillas

El color se midió tomando tres tortillas de cada tratamiento, realizando la lectura de color mediante el colorímetro (Precise color Reader, HP-200. Zhejiang top instrument Co., Ltd. China.).

5.9 Caracterización bromatológica de las harinas

La caracterización bromatológica se hizo solamente a las harinas extrudidas que presentaron los mejores resultados en la elaboración de las tortillas. Además se compararon con, una harina obtenida por el proceso tradicional de nixtamalización y por una harina de sorgo crudo.

5.9.1 Determinación de proteína

Se utilizó el método Kjeldhal para la determinación de proteína (método 32.1.22 de la AACC, 2000) el cual se basa en la digestión de la muestra en ácido sulfúrico concentrado a ebullición, con la adición de un catalizador. La muestra se digiere hasta disolución y oxidación de la misma. El nitrógeno en la muestra se convierte en amonio sulfato. Los resultados se expresaron en porcentaje de proteína con un factor de conversión de 6.25.

5.9.2 Determinación de cenizas

Esta técnica se refiere al equivalente del residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. Se pesaron 0.5 g de la muestra en un crisol previamente tarado, se pasó sobre una flama baja, evitando así la formación de

hollín, hasta que se carbonizó y en seguida se colocó el crisol con la muestra en una mufa a 550°C por seis h o hasta obtener una ceniza blanca. El porcentaje se determinó por diferencia de peso entre el peso inicial de la muestra menos el peso de las cenizas (método 942.05 de la AACC, 2000).

5.9.3 Determinación de extracto etéreo

Este método se basa en la extracción continua mediante calor de todas las sustancias solubles en éter de petróleo provenientes de una muestra seca, el extracto etéreo está formado principalmente por aceites y grasas, aunque también incluyen otro tipo de sustancias liposolubles.

Para esta determinación se utilizó lo descrito en la norma mexicana (NMX-F-089-S-1978) DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO (MÉTODO SOXHLET) EN ALIMENTOS.

5.9.4 Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra cruda se refiere a la pérdida de masa que corresponde a la incineración de residuos orgánicos que quedan después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e hidróxido de sodio (NaOH) en condiciones específicas.

Se utilizó el método AACC 32-10, 1995. Se determinó por digestión secuencial de la muestra con H_2SO_4 al 1.25% y después con NaOH al 1.25%.

5.10 Determinación de taninos condensados y fenoles totales de harinas

Para la obtención del extracto metanólico se utilizó 1 g de cada harina de sorgo adicionándole 10 mL de metanol, se dejó en agitación constante durante 24 h en un matraz, protegiéndolo de la luz y por último se centrifugó a 5000 rpm durante 10 min a temperatura ambiente, el sobrenadante se recolectó en frascos color ambar.

La cuantificación de taninos condensados se realizó con el método de la vainillina reportado por Deshpande y Cheyran (1987) modificado a microplaca. Este método se basa en la condensación de la vainillina con la proantocinidina en solución ácida.

Del sobrenadante obtenido se tomaron 50 μL y se colocaron en los pozos de la microplaca por triplicado, enseguida se adicionaron 200 μL de la solución de vainillina 0.5% (vainillina 1% en metanol y HCl 8% en metanol en una relación 1:1). Para ajuste, se preparó un blanco al cual se le adicionaron 50 μL de metanol y 200 μL de HCl al 4%. La lectura se realizó en un espectrofotómetro Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a 492 nm. La concentración se obtuvo mediante una curva de calibración (Anexo 10.3) de (+)-catequina equivalente. Los resultados se expresaron como mg de (+)-catequina equivalente/g de muestra.

La determinación de fenoles totales se realizó siguiendo la técnica de Folin-Ciocalteu (Dewanto *et al.*, 2002), para lo cual se preparó la muestra mezclando 50 μL del extracto, 250 μL de agua destilada y 125 μL del reactivo Folin-Ciocalteu, posteriormente se agitó y al final se añadieron 625 μL de Na_2CO_3 al 7 %; esta mezcla se dejó incubar por dos horas en la oscuridad y por último se colocaron 250 μL en la microplaca por triplicado. El blanco se preparó mezclando todo lo anterior, reemplazando el contenido del extracto por metanol. La lectura se realizó en un espectrofotómetro Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a 760 nm. El contenido de fenoles totales se reportó como mg de equivalentes de ácido gálico/g de muestra, calculado mediante una curva de calibración (Anexo 10.4).

Esta determinación al igual que la caracterización bromatológica, se realizó en las harinas extrudidas que presentaron los mejores resultados en la elaboración de las tortillas, además se compararon con una harina obtenida por el proceso tradicional de nixtamalización y con una harina de sorgo crudo (control).

5.11 Análisis sensorial de tortillas obtenidas por extrusión

Se realizó un análisis sensorial a las tortillas obtenidas por el proceso de extrusión, comparándolas con las obtenidas por el proceso tradicional, para determinar si son aceptadas por el consumidor.

Se realizaron dos pruebas: 1) Prueba de nivel de agrado donde se evaluaron los atributos de: olor, color, textura, sabor y agrado general, para lo cual se utilizó una escala hedónica de 7 puntos en la cual el 1 indica la mayor aceptación y el 7 la menor aceptación. 2) Prueba de preferencia, indicando con 1 a la de mayor y 4 a la de menor preferencia.

En la tabla siguiente se muestran los tratamientos analizados y la clave con el que se identificaron.

Tabla 6. Muestras analizadas con su respectiva clave.

Clave	Muestra
14	Control (Nixtamal)
10	20 rpm, 60% h , 100°C
37	10 rpm, 50% h, 100 °C
73	10 rpm, 60% h, 100°C

La prueba se llevó a cabo con un número de 104 jueces consumidores. Las hojas de respuesta se muestran en los anexos 8.4 y 8.5.

5.12 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de experimental totalmente aleatorio con arreglo factorial 3x2x2 con las variables de humedad, temperatura y tamaño de partícula como se muestra en la Tabla 7. El experimento se realizó por duplicado.

Tabla 7. Diseño de experimentos

Variables de proceso	Niveles
Velocidad de tornillo (rpm)	10
	20
Humedad (%)	50
	60
Temperatura (°C)	80
	90
	100

El análisis estadístico que se hizo, fue un análisis de varianza general para conocer el efecto de las variables de proceso sobre las variables de respuesta y una comparación de medias con la prueba de Tukey para ver las diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.5$).

Para el análisis de los resultados obtenidos del análisis sensorial se realizó un análisis de varianza modificado por Kruskal Wallis.

Capítulo 6 . Resultados y discusión



6.1 Caracterización física del grano de sorgo

Tabla 8. Resultados de caracterización física del grano.

Parámetro	Dimensiones del grano	Índice de flotación	Peso hectolítrico	Peso de mil granos	Humedad	Color
Resultados	Lar:4.25±0.25mm Anc:3.83±0.26mm Grue:2.38±0.20mm	69±3 granos	76.98±1.35 kg/hL	24.18±0.12 g	14.67±0.02 %	L:60.4±3.79 a:7.86±0.76 b:17.41±0.88

De los resultados obtenidos de esta caracterización, las dimensiones de largo y ancho quedaron fuera de las medidas que debe de tener el grano de sorgo, de acuerdo con la FAO (1995), quien reporta que el tamaño del grano de sorgo debe de estar entre 0.3-3 mm de cada lado.

El peso hectolítrico obtenido fue de 76.98 ± 1.35 kg/hL está por encima del dato permitido en la norma NMX-FF-037-1994 el cual es 73 kg/hL. El peso de mil granos según la FAO (1995), debe ser de 25 a 30 g, el peso obtenido en la caracterización es de 24.18 ± 0.12 g, siendo menor que el reportado.

El contenido de humedad quedó dentro de lo reportado en la norma NMX-FF-037-1994, siendo el establecido de 14 % y el obtenido en la caracterización de 14.67 ± 0.02 %, habiendo solamente un ligero aumento.

Los parámetros de color e índice de flotación permitieron tener referencias de estas características en el grano sorgo ya que no han sido reportadas por otros autores.

6.2 Caracterización fisicoquímica de harinas obtenidas por extrusión

6.2.1 Viscosidad y color de las harinas

Tabla 9. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la caracterización de harinas y comparación de medias de Tukey.

Variable	color			TP (°C)	V Max (cP)	V Min (cP)	V final (cP)	Retrogradación (cP)
	L	a	b					
	Velocidad de tornillo (rpm)							
10	70.53a	3.42a	9.67a	69.20a	1606.3a	942.6a	2614.8a	1674.5a
20	70.21a	3.18a	9.56a	70.94a	1735.4a	944.2a	2596.8a	1636.9a
p	0.579	0.226	0.237	0.677	0.609	0.987	0.953	0.844
	Humedad (%)							
50	70.70a	3.22a	9.53a	71.11a	1916.9a	1058.8a	2966.8a	1858.7a
60	70.08a	3.38a	9.70a	69.04a	1424.9b	837.6b	2278.4b	1452.7b
p	0.271	0.426	0.474	0.621	0.040	0.019	0.014	0.023
	Temperatura (°C)							
80	71.50a	3.00a	9.02b	76.34a	2235.4a	1161.5a	3266.1a	2104.5a
90	70.08ab	3.35a	9.89a	76.14a	1210.5b	773.0b	2067.4b	1341.4b
100	69.69b	3.55a	10.03a	55.84b	1532.0b	888.7b	2355.0b	1457.0b
p	0.014	0.060	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). TP: Temperatura de pasta (°C). V Max: Viscosidad máxima. V Min: Viscosidad mínima. V Final: Viscosidad final.

Los resultados de color muestran que la respuesta de “L” (L=0 indica negro y L=100 indica blanca), mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en la variable de temperatura, donde se observa una tendencia a disminuir dicho valor cuando las muestras son tratadas con temperaturas mayores; en cuanto al valor de “a” (valores negativos (-) indican verde mientras valores positivos (+) indican rojo) no mostró diferencia significativa ($p > 0.05$) en ninguna variable de proceso; el valor de “b” (valores negativos (-) indican azul y valores positivos (+) indican amarillo) mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la variable de temperatura.

La temperatura de pasta (TP) se define como la temperatura mínima requerida para formar una pasta y depende del grado de gelatinización del almidón al momento de

ser procesado (An and King, 2006). Esta variable de respuesta solo mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) cuando las muestras fueron tratadas con diferentes temperaturas. Se observó que esta respuesta disminuyó conforme la temperatura de proceso aumentó, lo que podría explicarse a que la mayoría de los gránulos de almidón sufrieron un desordenamiento al ser procesados por el extrusor provocando que cuando se vuelven a tratar la energía que requirió para su cocimiento fue menor.

La viscosidad máxima (V Max) de un almidón, ocurre en el punto de equilibrio entre el hinchado y lixiviación del almidón, causando el aumento de la viscosidad, lo que indica la capacidad del almidón para atrapar agua (Sánchez y Vázquez, 2011). La viscosidad máxima se alcanza cuando algunos de los gránulos altamente hinchados se han roto y/o fragmentado debido a las fuerzas de cizalla.

La viscosidad máxima mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en la variable de temperatura. El valor de V Max menor se obtuvo cuando se trataron a 90°C , y el mayor cuando fueron tratadas a 80°C , sin embargo el valor intermedio se encontró en las muestras tratadas a 100°C . Esto se debe a que durante el procesamiento de las muestras algunas moléculas de amilosa y amilopectina se pierden, dando como resultado una disminución en la capacidad del gránulo para absorber agua, por lo que al momento de la medición los gránulos que hayan absorbido menos agua resultarán con un valor de viscosidad máxima mayor.

La viscosidad mínima (V Min) se alcanza cuando los gránulos de almidón son calentados por encima de su temperatura de gelatinización y se aplica un esfuerzo mecánico constante. Esto provoca que dichos gránulos se rompan en pequeños fragmentos, tanto por un desordenamiento como por un rompimiento de las moléculas de amilopectina, ocasionando que la viscosidad aparente disminuya nuevamente (Sánchez y Vázquez, 2011).

La humedad y la temperatura fueron las variables que ocasionaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El valor de viscosidad mínima disminuyó cuando fue procesada a humedades mayores (60%); las altas humedades provocan que el gránulo absorba más agua y por lo tanto se hinchará más e inducirá a un mayor desordenamiento. La temperatura no mostró alguna tendencia, al obtenerse valores

de V Min mayores cuando se trató con 80 °C, menores cuando fue tratada con 90°C y valores intermedios cuando se trató a 100°C.

La viscosidad final (V Final) es un parámetro que ayuda a inferir sobre la calidad que tendrá la tortilla, es decir indica la habilidad que tiene para formar una pasta viscosa después del cocimiento y enfriado.

En la Tabla 9, se observa que, al igual que la viscosidad mínima, las variables de humedad y temperatura muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) sobre la viscosidad final. Los valores mayores de viscosidad final se registraron cuando las muestras se trataron con los niveles menores de estas variables (60% y 100°C respectivamente), sugiriendo que las muestras tratadas con estas condiciones serán harinas aptas para la elaboración de tortillas.

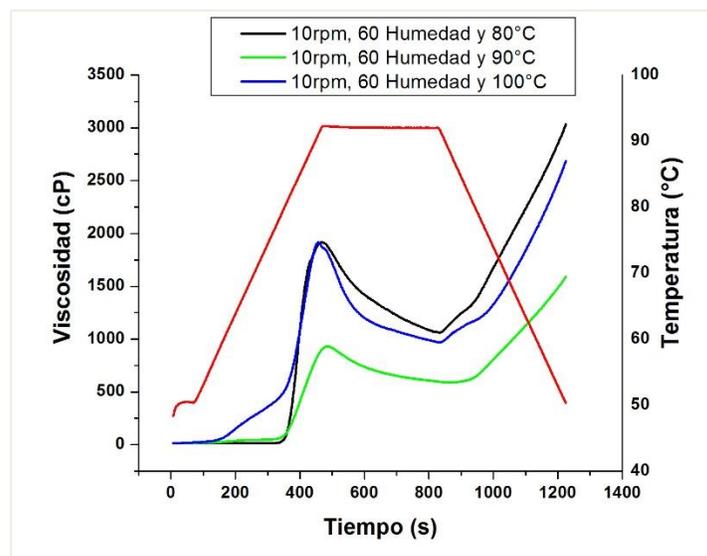


Figura 19. Viscoamilogramas de efecto de la temperatura de proceso sobre la viscosidad.

La retrogradación se define como la reasociación de los polímeros del almidón al momento de ser enfriados y se relaciona con la textura de varios productos. Es el rearrreglo que sufre la amilosa y la amilopectina dentro del gránulo de almidón, proceso por el cual se libera agua.

La humedad y la temperatura fueron las variables que presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) sobre la retrogradación según se muestra en la Tabla 9. La retrogradación mostró valores mayores cuando fue tratada a humedades menores (50%) al igual que la temperatura (80°C) y disminuyó cuando se incrementaron los valores de las variables aunque en la temperatura no fue proporcional.

6.2.2 Humedad, pH, ISA e IAA

Tabla 10. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la caracterización de harinas y comparación de medias de Tukey.

Variable	Humedad	pH	ISA	IAA
	Velocidad de tornillo (rpm)			
10	5.093a	8.003a	5.454a	3.161a
20	4.971a	8.071a	6.250a	2.992a
p	0.465	0.617	0.273	0.208
	Humedad (%)			
50	4.909a	8.107a	5.806a	3.009a
60	5.172a	7.970a	5.865a	3.157a
p	0.105	0.312	0.936	0.272
	Temperatura (°C)			
80	4.719b	8.121a	7.126a	2.733c
90	5.417a	8.238a	6.555a	3.135b
100	5.015b	7.706b	3.912b	3.413a
p	0.000	0.001	0.000	0.000

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). ISA: Índice de solubilidad en agua, IAA: Índice de absorción de agua.

El contenido de humedad es importante, porque está relacionado con la vida de anaquel del material. Cuando las harinas tienen un contenido de humedad del 10 al 12%, son estables frente a la contaminación microbiana; si esta humedad supera el 12%, el producto es atacado fácilmente por mohos y levaduras (Contreras, 2009). Por otro lado, la baja humedad de la harina puede contribuir a la conservación de la misma, porque retarda la rancidez de los lípidos y reduce la actividad enzimática, manteniendo por mayor tiempo estables sus características (Flores, 2004).

Los valores de pH reportados para harinas nixtamalizadas de maíz por método tradicional varían de 7.8 a 8.2 ± 0.3 (Billeb *et al.*, 2001; Fernández *et al.*, 2008); en este trabajo se obtuvieron por el proceso de extrusión sin embargo el pH encontrado

se encuentra dentro de estos rangos. Los valores más bajos se obtuvieron cuando las muestras fueron tratadas a una velocidad de tornillo baja (10 rpm), humedad alta (60%) y una temperatura de proceso alta (100°C).

Los valores del índice de solubilidad en agua (ISA) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la variable de temperatura, notándose una disminución cuando la temperatura de proceso aumentó; los valores obtenidos estuvieron en un rango de 3.9121 a 7.1260%, similares a los obtenidos por Yáñez Ortega (2005) para harinas nixtamalizadas por extrusión de maíz los cuales estuvieron entre 2.91 a 4.97% con condiciones de 93°C, 35% humedad, y 120°C, 40% humedad, respectivamente, donde el valor más cercano se obtuvo cuando las muestras fueron tratadas a 100°C. La solubilidad en agua es un indicativo del grado de rompimiento del gránulo de almidón (González *et al.*, 2006). El ISA presentó una respuesta dependiente de la temperatura debido a que el grado de gelatinización se relaciona positivamente con la cantidad de agua que hidrata a los gránulos de almidón (Gómez *et al.*, 1991).

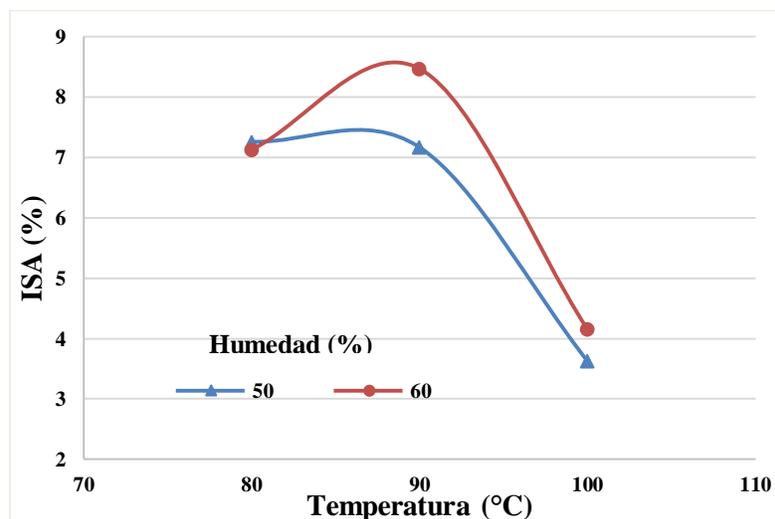


Figura 20. Efecto de la humedad y temperatura de proceso sobre el ISA.

La respuesta de índice de absorción de agua (IAA) mostró, al igual que la respuesta anterior, diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por efecto de la temperatura; en este caso se observó que los valores aumentaron cuando la temperatura se aumentó, lo que provoca que los gránulos de almidón pierdan su estructura y absorban más

agua, dando paso a la formación de una pasta gelatinizada debido a un mayor cocimiento. Se obtuvieron valores entre 2.7335 a 3.4139 (g gel/g harina) comparándolos con los obtenidos por Yáñez Ortega (2005) quien reportó de 2.768 a 4.992 (g gel/g harina), en condiciones de 93°C, 35% humedad, y 120°C, 40% humedad, respectivamente. Esta característica es importante en la elaboración de tortillas, ya que indica la capacidad que tienen las harinas para retener agua de lo que depende su flexibilidad y rendimiento.

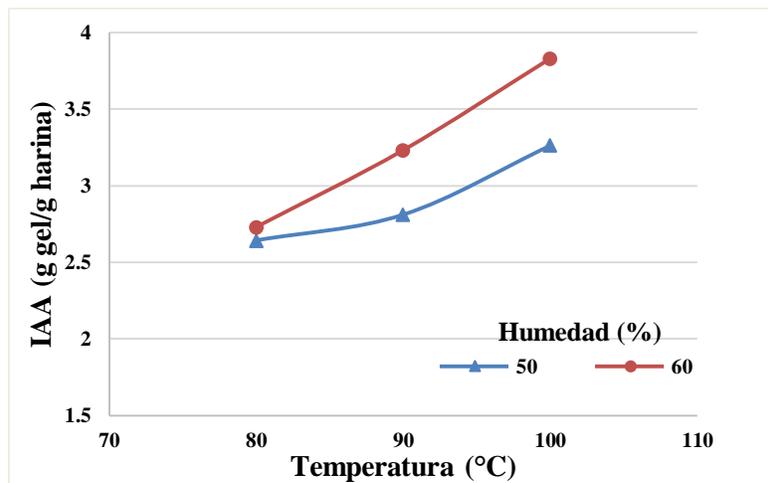


Figura 21. Efecto de la humedad y temperatura de proceso sobre el IAA.

6.3 Caracterización de masas obtenidas por extrusión

Tabla 11. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la caracterización de masas y comparación de medias de Tukey.

Variable	CAAS (mL de agua/ g de harina)	RM (kg de masa/ kg de harina)	Cohesión (N)	Adhesión (N)
	Velocidad de tornillo (rpm)			
10	1.209a	2.209a	2.188a	0.230a
20	1.081a	2.081a	2.637a	0.266a
p	0.107	0.107	0.068	0.348
Humedad (%)				
50	1.120a	2.120a	2.347a	0.212a
60	1.170a	2.170a	2.464a	0.286b
p	0.541	0.541	0.647	0.042
Temperatura (°C)				
80	0.973b	1.973b	2.841a	0.259a
90	1.079b	2.079b	2.523a	0.244a
100	1.382a	2.382a	1.900b	0.238a
p	0.000	0.000	0.002	0.903

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). CAAS: Capacidad de absorción de agua subjetiva. RM: Rendimiento de masa.

En cuanto a la medición de CAAS se obtuvieron valores similares a los reportados por otros autores (Flores *et al.*, 2002; Gaytán *et al.*, 2010), quienes reportan valores que varían de 1.21 a 1.36 mL de agua/g de harina y 1.05 a 1.28 mL de agua/ g de harina, para harinas de maíz nixtamalizado comerciales y para harinas obtenidas por cocimiento dieléctrico, respectivamente. Se puede observar que estos valores aumentaron conforme se aumentó la temperatura de proceso, lo que provocó que los gránulos de almidón perdieran su estructura y dieran paso a la formación de una pasta gelatinizada, debido a un mayor cocimiento.

El rendimiento de masa está directamente relacionada con la capacidad de absorción de agua, además esta propiedad es considerada como una de las más importantes desde el punto de vista económico. Los valores encontrados estuvieron entre 2.38 y 1.97 los cuales se encuentran dentro de lo reportado para harinas comerciales en México con un mínimo de 2.2 y un máximo de 2.3 g masa/ g harina

(Flores Farías *et al.*, 2002), para nixtamal tradicional la media es de 2.17 (Flores Farías, 2004).

Los resultados encontrados para la fuerza de cohesión en masas mostraron, al igual que las respuestas anteriores, efecto significativo ($p \leq 0.05$) solo en la variable de temperatura de proceso, para esta esta respuesta se observó que a mayores temperaturas los valores de cohesión disminuyeron, lo que significa que la fuerza requerida para mantener unidas sus moléculas es menor. Los valores obtenidos se encuentran entre 1.90 y 2.84 N, un poco elevados a los reportados en la literatura, donde se ubican en un mínimo de 0.7 N (Martínez *et al.*, 1998) y un valor máximo de 2 N (Flores, 2004) para harinas de maíz nixtamalizado. Los valores de cohesión son un indicativo de la suavidad o dureza que tendrán las tortillas por lo que a valores más bajos, la textura de las tortillas será mejor.

Martínez *et al.*, (1998) reportaron valores de adhesión desde 0.0785 a 0.5 N para harinas de maíz extrudidas, por su parte Flores *et al.* (2002) reportaron valores de cohesión de 1.96 N en masas obtenidas por nixtamalización tradicional, mientras que los obtenidos en este estudio se encontraron entre 0.212 y 0.286 N, esto significa que se encuentran en la media de los obtenidos de maíz extrudido. Una adhesión alta es el resultado de la una alta gelatinización de gránulos de almidón, generando una masa viscosa dificultando su troquelado en la realización de tortillas, por consiguiente valores altos de adhesión no son los más adecuados o deseables (Bello *et al.*, 2002; Flores, 2004).

6.4 Caracterización de tortillas obtenidas por extrusión

6.4.1 Pérdida de peso, inflado, rolabilidad, rendimiento de tortilla y humedad

Tabla 12. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la caracterización de tortillas y comparación de medias de Tukey.

Variable	PP (%)	Inflado (%)	Rolabilidad	RT (kg de tortilla/ kg de masa)	Humedad (%)
	Velocidad de tornillo (rpm)				
10	19.406a	50.04a	1.291a	1.766a	41.055a
20	20.030a	46.59a	1.281a	1.662b	38.344a
p	0.393	0.819	0.922	0.049	0.150
Humedad (%)					
50	19.479a	42.08a	1.204a	1.701a	38.553a
60	20.013a	54.96a	1.362a	1.727a	41.073a
p	0.464	0.390	0.107	0.630	0.182
Temperatura (°C)					
80	18.976b	15.85c	1.292ab	1.604b	35.236c
90	18.858b	39.64b	1.437a	1.679b	39.661b
100	21.514a	88.15a	1.131b	1.858a	44.366a
p	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). PP: Pérdida de peso. RT: Rendimiento de tortilla.

La pérdida de peso (PP) de las tortillas es una característica importante de calidad la cual influye en su textura, además está relacionada con el contenido de humedad en las masas, la temperatura del comal y los tiempos de cocimiento. Se observó que ninguna variable de proceso tuvo algún efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre esta característica, sin embargo, se encontraron diferencias significativas cuando las muestras se trataron a diferentes temperaturas de proceso mostrándose que a mayor temperatura el porcentaje de pérdida de peso es mayor. Arámbula *et al.*, (2001) reportaron que los valores óptimos de pérdida de peso para la realización de tortillas van de 16 a 20 %, mismos que se encuentran relativamente por debajo del encontrado en las muestras tratadas a 100 °C, sin embargo esto podría deberse a que las muestras tratadas a esta misma temperatura presentaron capacidades de

absorción de agua igualmente altas, por lo que la pérdida que estarían sufriendo sería principalmente de agua evaporada y no del material.

El inflado mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) solo en la variable de humedad. En cuanto al análisis de medias de Tukey se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) solo en la variable de temperatura de proceso. La formación de la ampolla en las tortillas asegura el cocimiento, además de que los valores altos significan una mayor retención de humedad lo que se ve reflejado en la suavidad de las tortillas. Se observó que los valores más altos se adquirieron a temperaturas altas.

La roabilidad es una característica de la tortilla que evalúa la facilidad de formación de taco sin que esta se rompa. Este parámetro no mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el análisis de varianza, mientras que en la prueba de Tukey se observa que la temperatura influyó significativamente ($p \leq 0.05$). Se obtuvieron resultados de roabilidad menores cuando las muestras se procesaron a 100 °C, sin embargo, la escala en la que se clasificaron notaba que el número 1 significaba una ruptura del 0% y los resultados muestran que solo variaron con algunos decimales.

El rendimiento de tortilla (RT) es un parámetro que está relacionado directamente con el rendimiento de masa y por ende con la capacidad de absorción de agua subjetiva, por lo que al procesar las muestras con altas temperaturas el rendimiento de tortilla será más alto que en las demás. En este trabajo se encontraron valores que van desde 1.604 a 1.858 kg de tortilla/kg de masa, mientras que Martínez *et al.*, (2002) obtuvieron rendimientos de 1.2 a 1.5 kg de tortilla/kg de masa para tortillas elaboradas con harina de maíz procesadas por el proceso tradicional de nixtamalización. Los valores obtenidos en este trabajo son superiores a lo reportado, sin embargo, al tratarse de dos materiales diferentes este dato no es muy representativo, ya que el sorgo presenta una mayor capacidad de retención de agua debido a las matrices proteicas que cubren al almidón, dificultando la pérdida del agua que entra al gránulo de almidón.

La humedad es un atributo importante para la calidad y la textura de las tortillas. Se ha reportado que a mayores valores de humedad se obtienen tortillas más suaves, mientras que a baja humedad las tortillas serán fáciles de quebrar (Gaytán, 2010). En

el análisis de varianza se observó que las variables de proceso que mostraron efecto significativo ($p \leq 0.05$) fueron la velocidad de tornillo y la temperatura de proceso; con el análisis de Tukey se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) solo en la variable de temperatura de proceso y se puede observar que a temperaturas altas el contenido de humedad aumentó haciendo que sus características texturales mejoren. La humedad encontrada varió de 35.23 a 44.36 %. Arámbula *et al.*, (2001) reportaron que la humedad requerida para que las tortillas tengan una textura adecuada debería estar entre un 42 y 44 %, por lo que las tortillas obtenidas de harinas procesadas a más altas temperaturas presentaron mejores características de calidad y textura.

6.4.2 pH, color y fuerza a la tensión y corte

Tabla 13. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la caracterización de tortillas y comparación de medias de Tukey.

Variable	pH	Color			Tensión (N)	Corte (N)
		L	a	b		
		Velocidad de tornillo (rpm)				
10	7.895a	49.339a	5.219a	16.092a	6.239a	8.384a
20	7.609a	47.373b	4.585b	16.020a	6.157a	9.133a
p	0.163	0.047	0.024	0.834	0.914	0.578
		Humedad (%)				
50	7.851a	48.386a	4.856a	16.080a	6.320a	9.121a
60	7.649a	48.410a	4.981a	16.027a	6.083a	8.329a
p	0.331	0.982	0.676	0.878	0.757	0.556
		Temperatura (°C)				
80	7.936a	48.889a	4.540a	15.622b	7.681a	11.478a
90	7.912a	47.300a	5.073a	16.764a	5.739ab	8.432ab
100	7.337b	49.067a	5.155a	15.723b	5.354b	6.659b
p	0.020	0.285	0.161	0.002	0.018	0.005

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El análisis de varianza para el pH de las tortillas no mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) en ninguna de las variables de proceso. En la comparación de medias por Tukey se observaron diferencias significativas a diferentes temperaturas de tal forma que conforme se aumentó la temperatura disminuyó el pH.

El color, al ser este el primer atributo que se evalúa cuando se consume un producto, es un parámetro importante para su aceptación. Se observa que para los valores de "L" (Luminosidad) la variable que mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) fue la humedad con valores que se encontraron entre 47.373 a 49.339 aumentando a este valor cuando se procesó a 10 rpm lo cual permitió obtener tortillas más claras (blancas). El valor de "a" mostró, al igual que el valor de luminosidad, efecto significativo ($p \leq 0.05$) solamente en la variable de velocidad de tornillo. El valor de "a" disminuyó en los tratamientos con 20 rpm. Los valores de "b" se encontraron entre 15.622 y 16.764 siendo afectada significativamente por la temperatura de proceso. Los valores positivos de "b" se traducen en color amarillo lo que significa que las muestras tratadas con una temperatura de 90 °C son ligeramente más amarillas.

La temperatura de proceso mostró un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la fuerza de tensión. El rango de fuerza de tensión se encontró entre 5.35 y 7.68 N. Se observó que conforme se aumentó la temperatura de proceso la fuerza a la tensión disminuyó lo que significa que a temperaturas altas se obtienen tortillas más suaves. La fuerza a la tensión simula la fuerza requerida por las manos para cortar la tortilla, Flores (2004) reportó el valor medio de 2.9 N para tortillas de maíz nixtamalizado, mientras que Antuna *et al.*, (2008) obtuvieron, para diferentes maíces criollos nixtamalizados, un rango de 1.52 a 2.51 N. Los valores obtenidos en este trabajo fueron mayores, sin embargo, cabe mencionar que tanto el equipo como sus instrumentos de medición no son iguales a los que se utilizaron en esos estudios.

Al igual que la fuerza de tensión, la fuerza al corte únicamente se vio afectada significativamente ($p \leq 0.05$) por la temperatura de proceso. La fuerza al corte simula la fuerza requerida por los molares y dientes, para morder y masticar la tortilla, es por esto que una tortilla con fuerzas al corte menores serán mejor aceptadas por el consumidor. El rango encontrado fue de 6.659 a 11.478 N, mientras que los que se reportan son alrededor de 17.47 N (Flores, 2004) para tortillas de maíz nixtamalizado mientras que para diferentes maíces criollos nixtamalizados se obtuvieron valores de 8.72 a 14.9 N (Antuna *et al.*, 2008). Esta medición se vio

afectada por las mismas condiciones que la anterior por lo que los resultados difieren con lo reportado.

6.5 Selección de las harinas para la realización de análisis sensorial

Tabla 14. Comparación de resultados con control mediante análisis de Dunnett.

	PP	Inflado	Rol	RT	Hum	pH	L	a	b	Tensión (N)	Corte (N)
control	19.35a	100a	1a	2.79a	44.27a	7.33a	54.55a	2.14a	13.71a	8.99a	8.27a
M105080	18.27a	7.81	1.125a	2.41	34.40	8.14a	50.63a	4.32a	15.95a	9.96a	14.28a
M105090	18.19a	36.39	1.4a	2.58a	41.11a	8.13a	47.98a	5.41	16.91	5.17a	6.14a
M1050100	19.30a	100a	1.1a	3.14	45.16a	7.66a	50.87a	5.67	16.02a	5.29a	6.59a
M106080	19.32a	23.13	1.4a	2.51	36.96	8.12a	48.36a	5	15.78a	7.52a	10.24a
M106090	18.42a	35a	1.5a	2.74a	42.41a	7.75a	47.73a	5.17	16.43	4.81a	6.00a
M1060100	22.37a	90.42a	1.2a	3.23	46.26a	7.43a	50.44a	5.72	15.28a	6.52a	7.03a
M205080	19.88a	0	1.2a	2.38	32.79	7.88a	47.93a	4.68	15.37a	7.86a	9.13a
M205090	19.49a	36.11	1.3a	2.44	36.11	8.20a	47.51a	4.81a	16.32a	6.88a	11.29a
M2050100	21.63a	72.19a	1.1a	2.89a	41.72a	6.98a	45.14	4.22a	15.89a	4.56a	7.27a
M206080	18.41a	32.47	1.4a	2.39	36.78	7.59a	48.15a	4.15a	15.46a	6.50a	13.02a
M206090	19.10a	48.75a	1.55a	2.49	38.33	7.55a	45.97a	4.69	17.38	6.08a	10.28a
M2060100	21.63a	90a	1.1a	2.29a	44.30a	7.42a	49.80a	4.99	15.68a	5.03a	5.73a

Medias que no están marcadas con A son significativamente diferentes al valor del control. PP: Pérdida de peso (%). Rol: Rolabilidad. RT: Rendimiento de tortilla (kg de tortilla /kg de masa) Hum: Humedad (%).

El análisis realizado mostró que las condiciones que más se asemejaron al control fueron todas las que se procesaron a 100 °C independientemente de las otras variables de proceso, aunque solo tres de estos cuatro tratamientos fueron los elegidos, algunas variables de respuesta no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) como el porcentaje de pérdida de peso, pH, tensión y corte; sin embargo, se tomaron en cuenta los valores que más se acercaban a los del control. Los tratamientos de 10 rpm, 50% de humedad y 100 °C, 10 rpm, 60% de humedad y 100°C y el de 20 rpm, 60 % de humedad y 100 °C, fueron las que más se acercaron a los resultados del control, por lo que estas tres condiciones fueron las elegidas para la realización del análisis sensorial.

6.6 Caracterización bromatológica de las harinas

Tabla 15. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la caracterización bromatológica de harinas y comparación de medias de Tukey.

Muestras	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Proteína (%)
Harina de sorgo crudo	1.538 c	2.762 a	9.82 bc
10 rpm, 50 % h, 100 °C	1.747 ab	2.034 b	10.27 ab
10 rpm, 60 % h, 100 °C	1.847 a	1.897 b	10.64 a
20 rpm, 60% h, 100 °C	1.764 ab	1.903 b	10.71 a
Harina nixtamalizada	1.626 bc	2.747 a	9.20 c
p	0.002	0.000	0.001

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Se observa que las cenizas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) solamente en las harinas de sorgo crudo y en las muestras extrudidas. También se puede observar que todas las muestras que fueron tratadas por cualquier proceso aumentaron su porcentaje; el contenido de cenizas está directamente relacionado con el contenido de minerales, principalmente por el calcio, lo cual se relaciona con la incorporación de cal, el porcentaje de cal encontrado en la harina nixtamalizada es menor que en las extrudidas, lo que podría deberse a que en este proceso el contenido de cal se pierde en el lavado del nixtamal. El porcentaje de cenizas encontrado en la harina cruda corresponde a lo reportado por otros autores (Leder, 2004; Porter 2000), los cuales obtienen valores desde 1.6 a 1.7 %.

El porcentaje de extracto etéreo de las harinas de sorgo nixtamalizadas no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) con la harina control, caso contrario de lo que pasa con las harinas obtenidas por extrusión donde se observa que hubo diferencias significativas en comparación al control, mostrando una disminución cuando son tratadas por este proceso. En cuanto al contenido de extracto etéreo este fue menor obteniéndose 2.762% en el grano crudo, mientras el reportado es de 3.65 % (INIFAP, 2010).

El contenido de proteína no mostró diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en las tres harinas obtenidas por extrusión, solamente se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), además se encontró que la harina extrudida obtenida a 10 rpm, 50 % de humedad y 100 °C no mostró diferencias con la harina control. El contenido de proteína de la variedad RB Paloma reportado por INIFAP (2010), se encuentra entre 9.11 y 10.7% el cual coincide con el valor obtenido en este trabajo para harina de sorgo cruda.

6.7 Determinación de taninos condensados y fenoles totales en harinas

Tabla 16. Análisis de varianza del efecto de las variables de proceso sobre la determinación de taninos condensados y fenoles totales de harinas y comparación de medias de Tukey.

Muestras	Taninos*	Fenoles totales**
Sorgo crudo	1.693 c	37.133 a
10 rpm, 50 % h, 100 °C	7.291 a	24.536 b
10 rpm, 60 % h, 100 °C	4.432 b	23.755 b
20 rpm, 60% h, 100 °C	6.518 a	23.107 b
Harina nixtamalizada	7.372 a	12.206 c
p	0.000	0.0000

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). * Los resultados se expresan mg de (+)-catequina equivalente/g de muestra. **Resultados expresados en mg de ácido gálico/g de muestra.

El contenido de taninos mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la harina de sorgo crudo comparada con las demás muestras independientemente del tratamiento al que haya sido sometido, se puede observar también que la harina de sorgo nixtamalizado no mostró diferencias con la muestras extrudidas a 10 rpm, 50 % de humedad y 100 °C y 20 rpm, 60 % de humedad y 100 °C. Cuando se comparan los tratamientos de extrusión variando la humedad se obtiene que a valores mayores el contenido de taninos disminuye tal y como se muestra en la Tabla 16; el mismo efecto sucede cuando se comparan las dos velocidades de

tornillo, en este caso se observa que a velocidades menores el contenido de taninos también disminuye.

Bravo (1998), reportó que tanto los taninos condensados como hidrolizables son compuestos insolubles, lo que provoca algunos errores significativos en su cuantificación, porque generalmente esta cuantificación se realiza en extractos, omitiendo en ocasiones esta cantidad de taninos insolubles o extraíbles.

Se observa que en el contenido de fenoles totales hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la harina control con las harinas obtenidos por cualquier proceso analizado, también se observó que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en las harinas obtenidas por extrusión, la harina de sorgo obtenida por nixtamalización mostro diferencias significativas ($p \leq 0.05$) tanto en la harina cruda como en las harinas extrudidas. Se nota que el contenido de fenoles totales disminuye cuando es procesada, en la Tabla 16 se observa que el proceso de nixtamalización tiene un mayor efecto sobre estos.

6.8 Análisis sensorial

6.8.1 Nivel de agrado

En general las calificaciones más altas en los 5 atributos analizados se obtuvieron en las tortillas de sorgo por nixtamalización (Figura 22). Se observa que el atributo de “olor” fue estadísticamente más aceptado en la muestra control (No. 14) que la muestra extrudida con las condiciones 10 rpm, 50% h, 100 °C (No. 37) y la muestra 20 rpm, 60 % h y 100 °C (No. 10), mientras que el control no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con la muestra extrudida a 10 rpm, 60% h, 100°C (No.73), sin embargo, estas diferencias no se ven reflejadas en las tres muestras extrudidas, donde no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$); en cuanto al atributo de “color” y “textura” los jueces detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las tortillas control y las tres tortillas realizadas con harinas extrudidas, las mismas que no presentaron diferencias entre ellas; para el atributo de “sabor” los jueces no

detectaron diferencias significativas en las muestras No. 73 y 37 comparándolas con la tortilla control, solamente hubo con la tortilla No. 10, pudiendo así observar en la Figura 22 que la tortilla realizada con la harina nixtamalizada tiene mejor calificación seguida por la tortilla extrudida número 37; por último en “agrado general” los jueces concluyeron que la tortilla control fue estadísticamente más aceptada que las tortillas elaboradas con harinas extrudidas.

Tabla 17. ANOVA modificado por Kruskal Wallis para prueba de nivel de agrado.

Muestra	Olor	Color	Textura	Sabor	Agrado general
14	4.835a	4.922a	4.861a	4.832a	4.892a
73	4.563ab	4.262b	4.311b	4.480ab	4.510b
10	4.475b	4.324b	4.363b	4.386b	4.386b
37	4.262b	4.175b	4.272b	4.624ab	4.412b

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

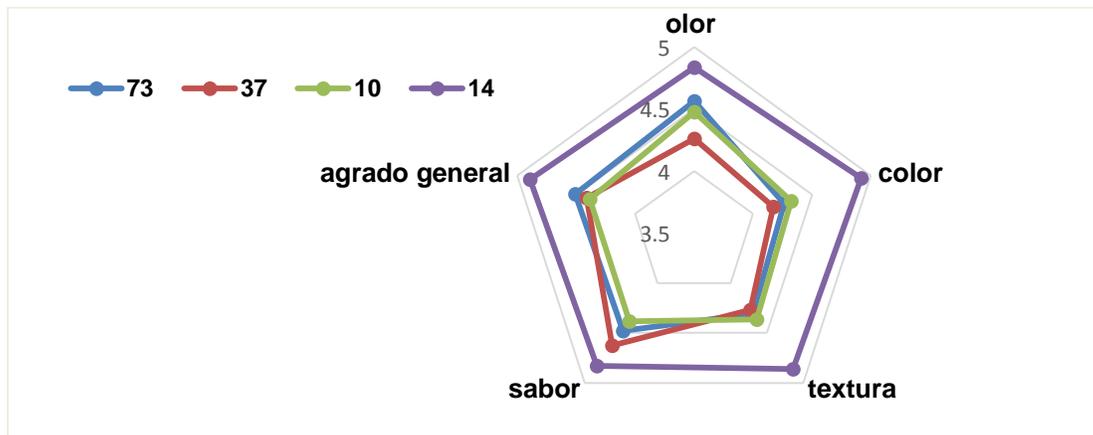


Figura 22. Grafica de nivel de agrado.

6.8.2 Prueba de preferencia

Los resultados muestran que las tortillas que obtuvieron los dos primeros lugares (Figura 23), fueron las realizadas con el proceso tradicional de nixtamalización y la tortilla extrudida de condiciones 10 rpm, 50 %h y 100°C (No. 37), se puede observar también en la

Tabla 18 que las tortillas obtenidas de harinas extrudidas no muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ellas.

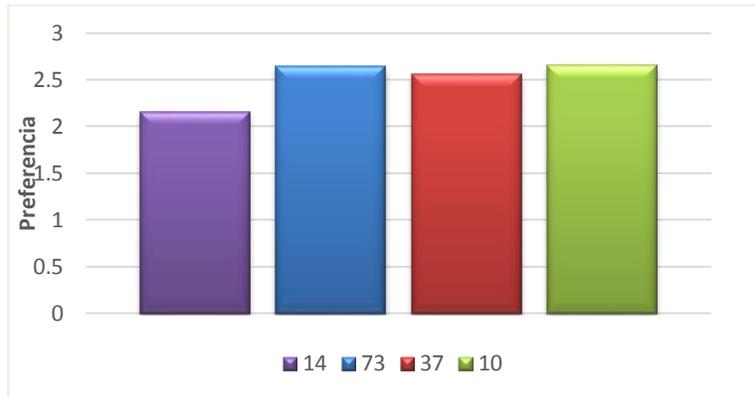


Figura 23. Resultados de preferencia.

Tabla 18. ANOVA modificado por Kruskal Wallis.

Muestra	Preferencia
14	2.153 a
37	2.557 b
73	2.644 b
10	2.653 b

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Puede observarse en la prueba de nivel de agrado, que de acuerdo al atributo agrado general, la muestra control es la que presenta mayores calificaciones y que las muestras extrudidas difieren significativamente de ella ($p \leq 0.05$); este mismo comportamiento se observa en la prueba de preferencia. Sin embargo, cabe mencionar que si se analizan los atributos de olor y sabor de la prueba de nivel de agrado, la muestra con condiciones 10 rpm, 60 % humedad, 100 grados centígrados (No. 73) no difiere significativamente del control, así como tampoco lo hace la 37, pero esta exclusivamente en el atributo sabor. Esto hace ver que cuando el consumidor evalúa la tortilla de sorgo, no considera únicamente el olor y el sabor para definir su agrado general o preferencia por una tortilla en particular, sino que incluye como atributos importantes al color y a la textura.

Capítulo 7 . Conclusiones



Tomando en cuenta los objetivos específicos y los resultados se llegó a las siguientes conclusiones:

- Es posible obtener harinas instantáneas de sorgo blanco por el proceso de extrusión, así como la elaboración de tortillas.
- La temperatura de proceso fue la variable que más influyó sobre las variables analizadas, siendo la temperatura de 100°C, la que más se acercó a los resultados del control como a los reportados para harinas y tortillas de maíz.
- La humedad y velocidad de tornillo no mostraron efecto sobre la mayoría de las variables analizadas, solamente la humedad influyó a las características de viscosidad de la harina en combinación con la temperatura.
- El análisis sensorial mostró que las tortillas extrudidas más aceptadas en comparación al control fueron las que se realizaron con las condiciones siguientes: velocidad de tornillo de 10 rpm, 60 % de humedad y 100°C de temperatura. Este resultado se observa en la respuesta de agrado general de la prueba de nivel de agrado.
- Los parámetros con los que se obtuvieron mejores resultados fueron: velocidad de tornillo de 10 rpm, 60 % de humedad y una temperatura de 100°C, esto se debe a que a una velocidad de tornillo menor el tiempo de residencia del material en el equipo es mayor, por lo que se asegura un mejor cocimiento, una humedad más elevada le confiere tanto a la harina como a las tortillas mejores propiedades de textura, y por ultimo una temperatura mayor asegura que los gránulos de almidón se gelatinicen y den paso a la formación de una masa de mejor calidad.

Capítulo 8 .Trabajo futuro

A pesar de que los resultados son alentadores, los alcances del trabajo de tesis consistieron únicamente en la obtención de harinas extrudidas de sorgo, su caracterización, y análisis sensorial de tortillas elaboradas con estas mismas harinas, aún existen algunos estudios por realizar como son:

Determinar la causa de la pigmentación de las tortillas, estudiar que sucede en los complejos almidón-proteína que se observan en las caracterizaciones de viscosidad; además es conveniente realizar un estudio de digestibilidad de proteína ya que se reporta que los taninos forma complejos con esta lo que podría ser una desventaja del producto, siguiendo la misma línea de taninos sería conveniente determinar porque el contenido de estos aumenta cuando se somete a extrusión y a nixtamalización tradicional.

Por otro lado, en cuanto al aspecto técnico sería interesante llevar la producción a una escala mayor, haciendo un equipo en escala piloto para obtener las harinas y tortillas y por ultimo caracterizarlas lo que nos ayudaría a conocer si hay diferencias cuando se lleva a mayores escalas. Esto nos permitiría también realizar un análisis de costos y rendimientos, para poder determinar si es factible llevar este proceso a nivel industrial.

Capítulo 9 . Bibliografía

AACC. 1995. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists 8th ed. The Association, St. Paul, MN.

AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.

An H.J and King J. M. (2006); Pasting Properties of Ohmically Heated Rice Starch and Rice Flours, Food Chemistry and Toxicology.

Anderson RH, Conway HF, Pfeifer VF y Griffin EL Jr., 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion- cooking. Cereal Science Today; 14; 4- 7; 11- 12.

Anderson RH, Conway HF, Pfeifer VF y Griffin EL Jr., 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion- cooking. Cereal Science Today; 14; 4- 7; 11- 12.

Antuna, G.O.; Rodríguez, H.S.A.; Arámbula, V.G.; Palomo, G.A; Gutiérrez, A.E.; Espinosa, B.A.; Navarro, O.E.; Enríquez, A.E. 2008. Calidad tortillera en maíces criollos de México. Rev Fitotec Mex. 31(3): 23-27.

Arámbula Villa Gerónimo, Mauricio, S. R. A., Figueroa C. J. D., González Hernández J. Y Ordorica F. C. A., 1999. Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. Journal of Food Science, 64: 1: 1999.

Arámbula Villa Gerónimo, Barrón Ávila Laura, Gonzales Hernández j, Moreno Martínez Ernesto y Luna Bárcenas Gabriel.2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (Zea mayz L.) nixtamalizado sobre las características fisicoquímicas reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz; Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro-México, Universidad Autónoma de Querétaro.

Bedolla S. & Rooney LW, 1984. Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. Cereal Foods World. 29:11:732-735.

Bravo L. 1998. Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance. Nutrition Review, Vol 56, No 11: 317-333.

Buenas perspectivas del sorgo, Artemio Martínez Ruiz, 2011 (Artículo- FIRA) (http://www.ganaderia.com.mx/ganaderia/home/articulos_int.asp?cve_art=764) [Consulta: [30/03/12](#)].

Bressani Ricardo, Turcios Juan C., Reyes Luis y Mérida Roberta. Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano

en América Central.2001.; Instituto de Investigaciones-Universidad del Valle de Guatemala.

Carr, M. E. 1994. Preparation of starch derivatives by reactive extrusion, *Annual Technical Conference – ANTEC, Conference Proceeding*, n pt 1, 50 - 54.

Chen, J.; Serafín, F. L.; Pandya, R. N. & Daun H., 1991. "Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates". *Journal of Food Science* 56 (1), pp. 84-89.

Contreras Jiménez Brenda L. 2009. Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico. CICATA-IPN Queretaro.

Chuck-Hernandez C., Perez-Carrillo E., Serna-Saldivar S.O. 2009. Production of bioethanol from steam-flaked sorghum and maize. *Journal of Cereal Science* 50 (2009) 131–137

Deshpande, S. S. and Cheryan, M. (1987). Determination of phenolic compounds of dry beans using vanillin, redox and precipitation assays. *Journal of Food Science*. 52(2): 332-334.

V. Dewanto, X. Wu, K. Adom, R. Lui, Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity, *Journal of agricultural and Food Chemistry*, Vol. 50 No.10, 2002, 3010-3014.

Duin, M. V., Machadoz, A. V. and Covas, J. 2001. A look inside the extruder: Evolution of chemistry, morphology and rheology along the extruder axis during reactive processing and blending. *Macromol. Symp.* 170, 29 - 39.

FAO. 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana. Depósito de documentos de la FAO Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación roma.

Figuroa J. D., Acero G. M. G., Vasco M. N., Lozano G. A., Flores A. L., González H. J., 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *ALAN* 51: 3: 293-302. ISSN 0004-0622.

Figuroa, J.D.C. 2004. "La cultura del maíz." <http://www.maiztortilla.com/es/introduccion/pasado.htm>

Figuroa, J.D.C.; Morales, S.E.; González, H.J.; Martínez, M.J.L. inventores; Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., assignee. 2008 Oct. 15, Proceso dieléctrico para nixtamalización de maíz. Mexican Patent 261,466.

Flores Farias Rivelino, Martínez B. Fernando., Salinas Yolanda, Ríos Elvira, 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36:5:557- 567. México.

Flores, F.R. 2004. Efecto de la incorporación de fibra dietética de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales en tortillas de maíz (*Zea mays* L.). (M.C. Tesis). CICATA, Unidad Querétaro, Querétaro, Qro., México.

García Mier Lina., 2009. Contenido total de taninos condensados en las variedades Pinto Zapata, Azufrado Higuera, Negro 8025 y Bayo Madero de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cocidas por calentamiento óhmico. CICATA-IPN Querétaro.

González Hernández, J., Figueroa, J. D. C., Sánchez, S.F., Martínez, D.L. J., Ruiz, T.M. (1997). Technological modernization of the alkaline cooking process for the production of masa and tortilla. Eds. Gazzinelli, R., R., Moreira, R.L., Rodríguez, W.N World Scientific Publishing Co. Pte. LTD Singapore, London. 162-179.

González, R.; Torres, R. & Degreef, D., 2002. "Extrusión-cocción de cereales". Bol. SBCTA, Campinas 36 (2), pp. 104-115.

Gómez-Aldapa, C.; Martínez-Bustos, F.; Figueroa, C.J.D.; Ordorica, F.C.A. 1999. A comparison of the quality of corn tortillas made from instant corn flours by traditional or extrusion process. *Int J Food Science & Technology*. 34 (4):391-399.

Haller Aníbal Darío, 2007. Determinación de las condiciones de extrusión adecuadas para elaborar harina de maíz con características similares a las de una harina nixtamalizada. Tesis magister, Universidad Nacional del Litoral.

Hamaker, B. R., Mohamed, A. A., Habben, J. E., Huang, C. P., and Larkins, B. A. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chem.* 72:583-588.

Harinder Singh, Yung Ho Chang, Jheng-Hua Lin, Navdeep Singh, Narpinder Singh., 2011. Influence of heat–moisture treatment and annealing on functional properties of sorghum starch. *Food Research International* 44 (2011) 2949–2954.

Harper, J. 1989. Food extruders and their applications. In *Extrusion Cooking* (Eds. C. Mercier, P. Linko, J. M. Harper) *Am. Assoc. Cereal Chem.*, St. Paul, MN.

INIFAP., 2010. (a) Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] blanco: alternativa para la alimentación humana. SAGARPA Folleto Técnico Núm. 45, ISBN: 978-607-425-469-3.

INIFAP, 2010. (b) RB Paloma: Variedad de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] de grano blanco para riego y buen temporal. SAGARPA Folleto Técnico Núm. 48, ISBN: 978-607-425-470-9.

Johnson, M.A. and Horner, F.A.H. 1992. Nixtamalization of corn (*Zea mays L.*) using a single screw cook-extrusion process on lime-treated grits. *J Food Sci Agric.* 60(4):509- 514.

Léder Iren, (2004), SORGHUM AND MILLETS, in *Cultivated Plants, Primarily as Food Sources*, [Ed. György Füleky], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK.

Liman Liu, Thomas J. Herald, Donghai Wang, Jeff D. Wilson, Scott R. Bean, Fadi M. Aramouni. Characterization of sorghum grain and evaluation of sorghum flour in a Chinese egg noodle system. 2011; *Journal of Cereal Science* 55 (2012) 31e36

Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales – parte i: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – especificaciones y métodos de prueba.

Norma Mexicana NMX-FF-037-1994. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. Sorgo. (*Sorghum vulgare L.*)

Martínez-Bustos, F.; Figueroa, J.D.C.; Sánchez-Sinencio, S.F., González-Hernández, J.; Martínez, M.J.L.; Ruiz-Torres, M. inventores. 1996. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., assignee. 1996 Sep 24. Extrusion apparatus for the preparation of instant fresh corn dough or masa. U.S. patent 5,558,886.

Mauricio-Sánchez R.A, Figueroa-Cardenas J.D., Taba S., Reyes-Vega M.L. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista fitotecnia Mexicana*, julio-septiembre, año/vol.27, numero 003. Sociedad. Pp. 213-222.

Martínez Flores. H. E. 1993 Elaboración de un alimento extruido, expandido tipo cereal para desayuno, con base en maíz y pasta de soya y cartamo., Tesis de maestría CINVESTAV México D.F.

Martinez Flores H. E., Martínez-Bustos F., Figueroa J. D. C., González Hernández J., 1998. Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *Journal Food Science* 63:130133.

Martínez-Bustos, F.; Martínez-Montes, J.L.; Sánchez-Sinencio, F.; Ruiz-Torres, M. inventores; Instituto Politécnico Nacional, assignee. 2002 May. 14. High pressure process and system for the production of fresh whole corn masa, nixtamalized whole corn flour and derived products. U.S. Patent 6,387,437.

Montes (b) Garcia Noe. 2010. Nixtamalización y elaboración de tortillas a base de sorgo blanco. Fundación produce: Tamaulipas.

Morales-Sánchez, E., Figueroa J.D.C., Gaytán-Martínez, M. (2010). Proceso y aparato cocedor de calentamiento óhmico para obtener masa y harina de maíz nixtamalizada y productos derivados. No. De expediente: MX/a/2010/004151.

Porter K., Director de Investigación de Sorgo. El Color del Sorgo Granífero y su Relación con el Valor de Comercialización y con su Valor Nutritivo. Pioneer Hi-Bred International, Inc.

Ramírez Benítez Ricardo F. 1984. Elaboración de Harinas Pregelatinizadas de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) por proceso hidrotérmico. Características Químicas y Usos. Universidad Autónoma de Chapingo.

Revelo Mera Andrea Gabriela, 2010. Desarrollo y evaluación de las tecnologías de un snack laminado a partir de quinua. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Rooney L.W. y Awika J.M. 2005. Overview of products and health benefits of specialty sorghums. Texas A&M university College Station, TX. AACC International.

Rooney L. W. and Murty D. S. Evaluation of Sorghum Food Quality International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 1982. Sorghum in the Eighties: Proceedings Symposium on Sorghum, 2-7 Nov 81, Patancheru, A.P., India. Patancheru, A.P. India: ICRISAT.

Rebolledo MA, Sangronis, Barbosa Cánovas GV. 1999; Evaluacion de galletas dulces enriquecidas con fibra de maíz y soya, Universidad Simón Bolívar Venezuela, sociedad latinoamericana de nutrición.

Sánchez González Ismael, 2007. Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión. CICATA-IPN

Shahai D., Mua J.P, Surgewan I., Buendia M.O., Rowe M., and Jackson D.S.; Assessing Degree of Cook During Corn Nixtamalization; Impact of Processing Variables; American Association of Cereal Chemist, inc; 1999.

Situación actual y perspectivas de la producción de sorgo en México 1992-2004 SIAP-SAGARPA, 2003. (http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/sorgo92-04.pdf) [Consulta: 30/03/12]

Serna-Saldivar, S.O., Canett, R., Vargas, J., Gonzalez, M., Bedolla, S., Medina, C., 1988. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusion cooking. *Cereal Chemistry* 65, 44–48.

Xie, F., Yu, L., Liu, H., and Chen, L. 2006. Starch Modification Using Reactive Extrusión. *Starch/Stärke* 58, 131 - 139.

Yáñez Ortega Yadira, 2005. Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas. Tesis de maestría, CICATA, Legaria.

Capítulo 10 . Anexos

10.1 Hojas de respuesta para la prueba de nivel de agrado

Edad: _____ Sexo: () F () M MUESTRA: _____

Olor

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Color

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Textura

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Sabor

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Agrado general

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

10.2 Hoja de respuestas para la prueba de preferencia

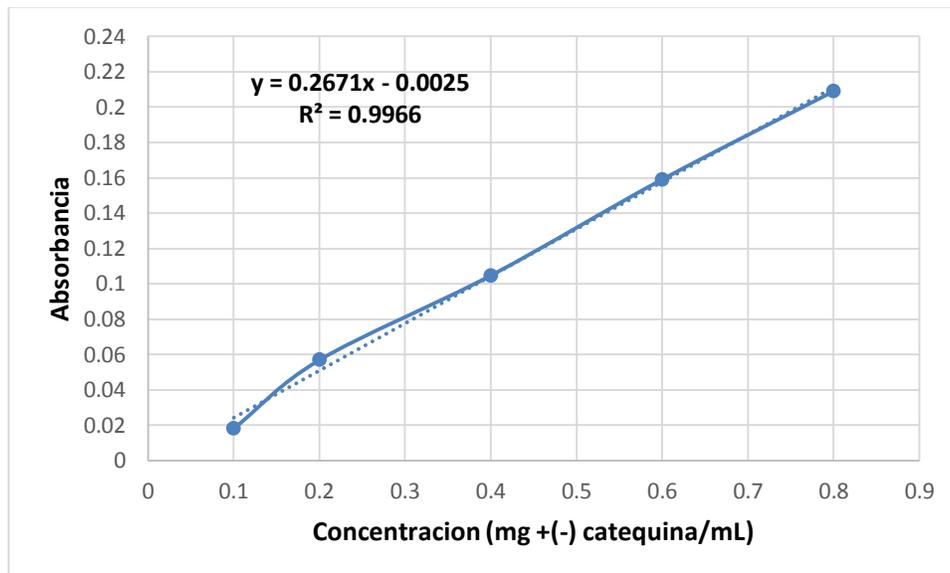
Sexo _____ Edad _____

1. Coloque el número de las muestras en el orden en que vienen en el plato, después ordene en la siguiente columna de acuerdo a la preferencia. El número 1 indica la muestra de mayor preferencia.

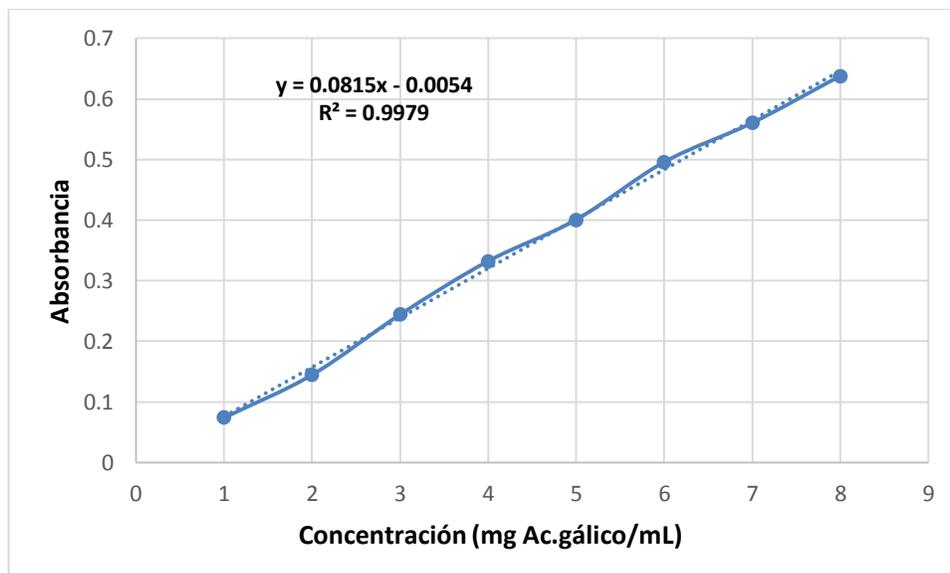
Muestra	Orden de preferencia	Comentarios
	1	
	2	
	3	
	4	

2. ¿Por qué eligió el número 1 y 2?

10.3 Curva de calibración para determinación de taninos condensados



10.4 Curva de calibración para determinación de fenoles totales



10.5 Prueba de nivel de agrado

Kruskal-Wallis Test: olor versus Muestra 73 vs 37

Kruskal-Wallis Test on olor

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 37				
37	103	4.000	96.0	-1.80
73	103	5.000	111.0	1.80
Overall	206		103.5	

H = 3.24 DF = 1 P = 0.072
H = 3.44 DF = 1 P = 0.064 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: color versus Muestra 73 vs 37

Kruskal-Wallis Test on color

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 37				
37	103	4.000	102.0	-0.36
73	103	4.000	105.0	0.36
Overall	206		103.5	

H = 0.13 DF = 1 P = 0.722
H = 0.13 DF = 1 P = 0.715 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: textura versus Muestra 73 vs 37

Kruskal-Wallis Test on textura

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 37				
37	103	5.000	102.5	-0.23
73	103	4.000	104.5	0.23
Overall	206		103.5	

H = 0.05 DF = 1 P = 0.815
H = 0.06 DF = 1 P = 0.809 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: sabor versus Muestra 73 vs 37

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on sabor

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 37				
37	101	5.000	104.6	0.62
73	102	5.000	99.5	-0.62
Overall	203		102.0	

H = 0.38 DF = 1 P = 0.537
H = 0.40 DF = 1 P = 0.525 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: agrado general versus Muestra 73 vs 37

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on agrado general

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 37				
37	102	5.000	100.0	-0.60
73	102	5.000	105.0	0.60
Overall	204		102.5	

H = 0.36 DF = 1 P = 0.548
H = 0.39 DF = 1 P = 0.534 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: olor_1 versus Muestra 73 vs 10

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on olor_1

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 10				
10	101	5.000	99.3	-0.77
73	103	5.000	105.6	0.77
Overall	204		102.5	

H = 0.59 DF = 1 P = 0.444
H = 0.63 DF = 1 P = 0.428 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: color_1 versus Muestra 73 vs 10

205 cases were used
1 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on color_1

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 10				
10	102	4.000	103.5	0.11
73	103	4.000	102.5	-0.11
Overall	205		103.0	

H = 0.01 DF = 1 P = 0.912
H = 0.01 DF = 1 P = 0.909 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: textura_1 versus Muestra 73 vs 10

205 cases were used
1 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on textura_1

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 10				
10	102	4.500	103.6	0.15
73	103	4.000	102.4	-0.15
Overall	205		103.0	

H = 0.02 DF = 1 P = 0.880
H = 0.02 DF = 1 P = 0.877 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: sabor_1 versus Muestra 73 vs 10

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on sabor_1

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 10				
10	101	4.000	98.9	-0.74
73	102	5.000	105.0	0.74
Overall	203		102.0	

H = 0.55 DF = 1 P = 0.460
H = 0.58 DF = 1 P = 0.448 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: agrado general_1 versus Muestra 73 vs 10

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on agrado general_1

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 10				
10	101	5.000	97.7	-1.03
73	102	5.000	106.2	1.03
Overall	203		102.0	

H = 1.06 DF = 1 P = 0.304
H = 1.16 DF = 1 P = 0.282 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: olor_2 versus Muestra 73 vs 14

Kruskal-Wallis Test on olor_2

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 14				
14	103	5.000	110.0	1.56
73	103	5.000	97.0	-1.56
Overall	206		103.5	

H = 2.44 DF = 1 P = 0.118
H = 2.60 DF = 1 P = 0.107 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: color_2 versus Muestra 73 vs 14

205 cases were used
1 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on color_2

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 14				
14	102	5.000	118.8	3.79
73	103	4.000	87.4	-3.79
Overall	205		103.0	

H = 14.34 DF = 1 P = 0.000
H = 15.07 DF = 1 P = 0.000 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: textura_2 versus Muestra 73 vs 14

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on textura_2

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 14				
14	101	5.000	114.4	2.86
73	103	4.000	90.8	-2.86
Overall	204		102.5	

H = 8.17 DF = 1 P = 0.004
H = 8.62 DF = 1 P = 0.003 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: sabor_2 versus Muestra 73 vs 14

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on sabor_2

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 14				
14	101	5.000	109.2	1.74
73	102	5.000	94.9	-1.74
Overall	203		102.0	

H = 3.01 DF = 1 P = 0.083
H = 3.21 DF = 1 P = 0.073 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: agrado general_2 versus Muestra 73 vs 14

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on agrado general_2

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 14				
14	102	5.000	111.8	2.24
73	102	5.000	93.3	-2.24
Overall	204		102.5	

H = 5.01 DF = 1 P = 0.025
H = 5.42 DF = 1 P = 0.020 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: olor_3 versus Muestra 37 vs 10

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on olor_3

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 10				
10	101	5.000	107.8	1.27
37	103	4.000	97.3	-1.27
Overall	204		102.5	

H = 1.62 DF = 1 P = 0.203
H = 1.74 DF = 1 P = 0.187 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: color_3 versus Muestra 37 vs 10

205 cases were used
1 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on color_3

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 10				
10	102	4.000	105.1	0.51
37	103	4.000	100.9	-0.51
Overall	205		103.0	

H = 0.26 DF = 1 P = 0.609
H = 0.28 DF = 1 P = 0.598 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: textura_3 versus Muestra 37 vs 10

205 cases were used
1 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on textura_3

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 10				
10	102	4.500	104.6	0.40
37	103	5.000	101.4	-0.40
Overall	205		103.0	

H = 0.16 DF = 1 P = 0.692

H = 0.17 DF = 1 P = 0.682 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: sabor_3 versus Muestra 37 vs 10

202 cases were used
4 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on sabor_3

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 10				
10	101	4.000	95.9	-1.37
37	101	5.000	107.1	1.37
Overall	202		101.5	

H = 1.89 DF = 1 P = 0.170
H = 1.99 DF = 1 P = 0.158 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: agrado general_3 versus Muestra 37 vs 10

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on agrado general_3

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 10				
10	101	5.000	100.9	-0.26
37	102	5.000	103.1	0.26
Overall	203		102.0	

H = 0.07 DF = 1 P = 0.795
H = 0.07 DF = 1 P = 0.788 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: olor_4 versus Muestra 37 vs 14

Kruskal-Wallis Test on olor_4

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 14				
14	103	5.000	117.5	3.38
37	103	4.000	89.5	-3.38
Overall	206		103.5	

H = 11.43 DF = 1 P = 0.001
H = 12.14 DF = 1 P = 0.000 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: color_4 versus Muestra 37 vs 14

205 cases were used
1 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on color_4

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 14				
14	102	5.000	119.7	4.01
37	103	4.000	86.5	-4.01
Overall	205		103.0	

H = 16.05 DF = 1 P = 0.000
H = 16.85 DF = 1 P = 0.000 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: textura_4 versus Muestra 37 vs 14

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on textura_4

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 14				
14	101	5.000	115.9	3.20
37	103	5.000	89.4	-3.20
Overall	204		102.5	

H = 10.26 DF = 1 P = 0.001
H = 10.92 DF = 1 P = 0.001 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: sabor_4 versus Muestra 37 vs 14

202 cases were used
4 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on sabor_4

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 14				
14	101	5.000	106.2	1.14
37	101	5.000	96.8	-1.14
Overall	202		101.5	

H = 1.30 DF = 1 P = 0.254
H = 1.37 DF = 1 P = 0.241 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: agrado general_4 versus Muestra 37 vs 14

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on agrado general_4

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 14				
14	102	5.000	113.5	2.67
37	102	5.000	91.5	-2.67
Overall	204		102.5	

H = 7.13 DF = 1 P = 0.008
H = 7.58 DF = 1 P = 0.006 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: olor_5 versus Muestra 10 vs 14

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on olor_5

Muestra					
10 vs 14	N	Median	Ave Rank	Z	
10	101	5.000	92.0	-2.52	
14	103	5.000	112.8	2.52	
Overall	204		102.5		

H = 6.36 DF = 1 P = 0.012
H = 6.88 DF = 1 P = 0.009 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: color_5 versus Muestra 10 vs 14

204 cases were used
2 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on color_5

Muestra					
10 vs 14	N	Median	Ave Rank	Z	
10	102	4.000	87.4	-3.66	
14	102	5.000	117.6	3.66	
Overall	204		102.5		

H = 13.39 DF = 1 P = 0.000
H = 14.06 DF = 1 P = 0.000 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: textura_5 versus Muestra 10 vs 14

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on textura_5

Muestra					
10 vs 14	N	Median	Ave Rank	Z	
10	102	4.500	90.5	-2.80	
14	101	5.000	113.6	2.80	
Overall	203		102.0		

H = 7.82 DF = 1 P = 0.005
H = 8.28 DF = 1 P = 0.004 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: sabor_5 versus Muestra 10 vs 14

202 cases were used
4 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on sabor_5

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
10 vs 14				
10	101	4.000	91.4	-2.47
14	101	5.000	111.6	2.47
Overall	202		101.5	

H = 6.08 DF = 1 P = 0.014
H = 6.41 DF = 1 P = 0.011 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: agrado general_5 versus Muestra 10 vs 14

203 cases were used
3 cases contained missing values

Kruskal-Wallis Test on agrado general_5

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
10 vs 14				
10	101	5.000	89.0	-3.13
14	102	5.000	114.8	3.13
Overall	203		102.0	

H = 9.78 DF = 1 P = 0.002
H = 10.50 DF = 1 P = 0.001 (adjusted for ties)

10.6 Prueba de preferencia

Kruskal-Wallis Test: preferencia 73 vs 37 versus Muestra 73 vs 37

Kruskal-Wallis Test on preferencia 73 vs 37

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 37				
37	104	3.000	102.1	-0.58
73	104	3.000	106.9	0.58
Overall	208		104.5	

H = 0.33 DF = 1 P = 0.563
H = 0.36 DF = 1 P = 0.549 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: Preferencia 73 vs 10 versus Muestra 73 vs 10

Kruskal-Wallis Test on Preferencia 73 vs 10

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 10				
10	104	3.000	104.6	0.02
73	104	3.000	104.4	-0.02
Overall	208		104.5	

H = 0.00 DF = 1 P = 0.984
H = 0.00 DF = 1 P = 0.984 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: Preferencia 73 vs 14 versus Muestra 73 vs 14

Kruskal-Wallis Test on Preferencia 73 vs 14

Muestra	N	Median	Ave Rank	Z
73 vs 14				
14	104	2.000	92.1	-2.97
73	104	3.000	116.9	2.97
Overall	208		104.5	

H = 8.80 DF = 1 P = 0.003
H = 9.45 DF = 1 P = 0.002 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: preferencia37 vs 10 versus muestra 37 vs 10

Kruskal-Wallis Test on preferencia37 vs 10

muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 10				
10	104	3.000	107.0	0.60
37	104	3.000	102.0	-0.60
Overall	208		104.5	

H = 0.36 DF = 1 P = 0.546
H = 0.39 DF = 1 P = 0.532 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: preferencia 37 vs 14 versus muestra 37 vs 14

Kruskal-Wallis Test on preferencia 37 vs 14

muestra	N	Median	Ave Rank	Z
37 vs 14				
14	104	2.000	93.8	-2.56
37	104	3.000	115.2	2.56
Overall	208		104.5	

H = 6.54 DF = 1 P = 0.011
H = 7.03 DF = 1 P = 0.008 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: preferencia 10 vs 14 versus muestra 10 vs 14

Kruskal-Wallis Test on preferencia 10 vs 14

muestra	N	Median	Ave Rank	Z
10 vs 14				
10	104	3.000	117.6	3.15
14	104	2.000	91.4	-3.15
Overall	208		104.5	

H = 9.91 DF = 1 P = 0.002
H = 10.62 DF = 1 P = 0.001 (adjusted for ties)