

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Negrita



**“BIODISPONIBILIDAD DE LA PROTEÍNA EN
TORTILLA EXTRUIDA DE SORGO”**

Por:

KARLA VALERIA GONZÁLEZ ZEPEDA

Con formato: Centrado,
Interlineado: 1,5 líneas

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Con formato: Interlineado: 1,5
líneas

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, FEBRERO 2015.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

"BIODISPONIBILIDAD DE LA PROTEÍNA EN TORTILLA EXTRUIDA DE SORGO
(*Sorghum spp*)"

Por:

Karla Valeria González Zepeda

T E S I S

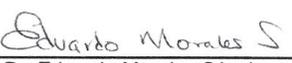
QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

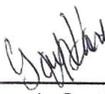
Aprobada



M.C. María Hernández González
Presidente



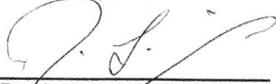
Dr. Eduardo Morales Sánchez
Director de tesis



Dra. Marcela Gaytán Martínez
Co Director



M.P. Francisco Hernández Centeno
Vocal suplente



Dr. Ramiro López Trujillo
Coordinador de la División de
Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México
FEBRERO 2015



"Nada sobre esta tierra puede detener al hombre que posee la correcta actitud mental para lograr su meta. Nada sobre esta tierra puede ayudar al hombre con la incorrecta actitud mental."

Thomas Jefferson

Dedicatoria

Con formato: Justificado

Mi tesis la dedico principalmente a mis padres, Laura Zepeda y Roberto González.

Mamá-Papá: gracias por creer en mí y sacarme adelante, por darme esos ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada una más de mis metas, ya que siempre estuvieron impulsándome en todo momento.

Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza, por lo que han hecho de mí y por amarme tanto.

A mi hermano Rodolfo Fajer, porque a pesar de la distancia siempre cuento con todo tu apoyo, por tus comentarios y ocurrencias tan fuera de lugar que me sacan una sonrisa.

A mis tías, tíos, primos, primas, aunque estemos todos dispersos mil gracias por todas sus sugerencias y porras. ¡Los quiero!

Padrinos Paty y Paco, Assiy y Alejandro, tía Beatriz, Sandra, Sonia y Amelia, primos Fernando e Ivette gracias por siempre estar pendiente de mí y por todo su cariño. A mis abuelas Irma y Amelia (Q.E.P.D), sé que estarían muy orgullosas de mí y puestísimas para llenarme de felicitaciones y abrazos disfrutando nuestro logro.

A todas mis amigas y amigos, pero en especial a la Lic. Karla Reséndiz, Ing. Sofía Salinas, Ing. Grace Pino, Ing. Estefanía Neira, Lic. Marcela Cinco, Lic. Rigel Hernandez, Ing. Gustavo Burciaga, Ing. Daniel Martínez y Roberto Martínez; por estar siempre conmigo. Además de regalarnos esos momentos de risas, experiencias, anécdotas que terminaron por formar tan linda hermandad. Amig@s en las buenas y malas, ¡Los adoro!

“La gratitud es la memoria del corazón.”

Agradecimientos

Agradecimientos

Agradezco al Laboratorio de Toxicología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Querétaro y al del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada campus Querétaro, las facilidades dadas para realizar el presente trabajo.

Al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACyT - Gobierno del Estado de Tamaulipas, doy las gracias por el apoyo brindado para realización de la investigación a través del Proyecto FOMIX Tamaulipas 186247, así como por la beca otorgada.

Un agradecimiento ~~muy especial a~~ la Ma. María Hernández, asesora de ~~ésta tesis.~~ y ~~Dra por su ayuda~~

Un reconocimiento especial a todos los doctores, s, maestros y compañeros: principalmente a la Dra. Marcela Gaytán y el Dr. Eduardo Morales directores de ésta investigación por su apoyo, confianza y orientación brindada, a Pablo, Diego, Aurea, Lizeth,

Con formato: Izquierda: 2,5 cm, Derecha: 2,5 cm, Arriba: 2,5 cm, Abajo: 2,5 cm, Encuadernación: 1 cm, Distancia del encabezado desde el borde: 1,5 cm, Distancia del pie de página desde el borde: 1,25 cm

Con formato: Izquierda

Con formato: Interlineado: 1,5 líneas

Edelin, al Ma. Víctor Sánchez, e ingenieros Ángel y Fátima, por todos sus conocimientos y sugerencias para éste trabajo.

~~-de ENLISTA TODOS TUS COMPAÑEROS~~

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINA

<i>Acta de revisión</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Dedicatoria</i>	4
<i>Agradecimientos</i>	5
ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA 11
ÍNDICE DE FIGURAS	PÁGINA 12
RESUMEN	14
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I	18
1.1	INTRODUCCIÓN 18
1.2	PROBLEMÁTICA 20
1.3	JUSTIFICACIÓN..... 20
1.4	HIPÓTESIS..... 22
1.5	OBJETIVOS..... 22
1.5.1	Objetivo general 22
1.5.2	Objetivos específicos..... 22
CAPÍTULO II	23
2.1	MARCO TEÓRICO 23
2.1.1	El sorgo..... 23
2.1.2	Origen del sorgo..... 23
2.1.3	Importancia y Usos 25
2.1.4	Producción Mundial y Nacional 26
2.1.5	Descripción botánica..... 28

ÍNDICE

2.1.6	Tipos de sorgo.....	29
2.1.7	Clima	30
2.1.8	Composición física del grano de sorgo.....	30
2.1.9	Cáscara o gluma.....	31
2.1.10	Pericarpio	31
2.1.11	Composición química del grano de sorgo	34
2.2	NIXTAMALIZACIÓN	42
2.2.1	Tecnología alternativa.....	43
2.3	EXTRUSIÓN.....	44
2.3.1	Aplicación de la extrusión en alimentos a base de grano de sorgo.....	45
2.3.2	Tipos de extrusores.....	47
2.3.3	Principales variables en el proceso de extrusión.....	48
CAPÍTULO 3		50
3.1	MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.2	EQUIPOS.....	51
3.3	MATERIA PRIMA	52
3.4	LIMPIEZA Y MOLIENDA DE GRANO.....	52
3.5	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO	53
3.5.1	Dimensión del grano	53
3.5.2	Peso 1000 granos (PMG).....	53
3.5.3	Peso hectolitro y Densidad aparente.....	54
3.5.4	Índice de flotación	54
3.6	OBTENCIÓN DE LA HARINA CONTROL POR EL PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACIÓN.....	55
3.7	OBTENCIÓN DE HARINAS POR EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	56
3.8	ELABORACIÓN DE TORTILLAS DE SORGO.....	57

3.9	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN	58
3.9.1	Determinación del contenido de humedad	58
3.9.2	Determinación del contenido de proteína	58
3.9.3	Determinación de cenizas	60
3.9.4	Determinación del extracto etéreo.....	61
3.10	EVALUACIONES NUTRACÉUTICAS DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN.....	62
3.10.1	Determinación de fibra dietética total.....	62
3.10.2	Preparación del extracto metanólico.....	65
3.10.3	Fenoles totales.....	66
3.10.4	Flavonoides.....	67
3.10.5	Taninos Condensados	68
3.11	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN	69
3.11.1	Método ABTS.....	69
Técnica de DPPH	72	
3.11.2	72	
3.12	CUANTIFICACIÓN DEL ALMIDÓN RESISTENTE DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN	73
3.13	DIGESTIBILIDAD <i>IN VIVO</i> DE PROTEÍNAS.....	75
Cuantificación de proteínas método Bradford	75	
3.13.1	75	
Digestión y absorción gastrointestinal.....	76	
3.13.2	76	
3.13.3	Boca in vivo.....	76
3.13.4	Estómago <i>in vitro</i>	77

ÍNDICE

3.13.5	Intestino Delgado <i>ex vivo</i>	78
3.13.6	Manejo de los animales después del sacrificio.....	80
3.14	Diseño y análisis estadístico	80
CAPÍTULO 4	81	
4.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
4.1.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO.....	81
4.2	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SORGO Y DE LAS HARINAS OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN	82
4.3	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS TORTILLAS OBTENIDAS DE LAS HARINAS DE SORGO NIXTAMALIZADAS POR EXTRUSIÓN Y DE MANERA TRADICIONAL	85
4.4	EVALUACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR EXTRUSIÓN Y POR EL PROCESO TRADICIONAL.....	86
4.4.1	Compuestos fenólicos	86
4.4.2	Actividad Antioxidante (CAO) y Almidón Resistente (AR)	90
4.5	CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS POR MÉTODO BRADFORD	95
CAPÍTULO 5	100	
5.1	CONCLUSIONES	100
CAPÍTULO 6	102	
6.1	BIBLIOGRAFÍA.....	102
Acta de Revisión		2
Dedicatoria		4
Agradecimientos		6
ÍNDICE DE TABLAS		18
ÍNDICE DE FIGURAS		12
RESUMEN		24
ABSTRACT		16

CAPÍTULO I.....	28
1.1 INTRODUCCIÓN.....	28
1.2 PROBLEMÁTICA.....	30
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	30
1.4 HIPÓTESIS.....	32
1.5 OBJETIVOS.....	32
1.5.1 Objetivo general.....	32
1.5.2 Objetivos específicos.....	32
CAPÍTULO II.....	33
2.1 MARCO TEÓRICO.....	33
2.1.1 El sorgo.....	33
2.1.2 Origen del sorgo.....	34
2.1.3 Importancia y Usos.....	36
2.1.4 Producción Mundial y Nacional.....	37
2.1.5 Descripción botánica.....	39
2.1.6 Tipos de sorgo.....	41
2.1.7 Clima.....	42
2.1.8 Composición física del grano de sorgo.....	42
2.1.9 Cáscara o gluma.....	43
2.1.10 Pericarpio.....	43
2.1.10.1 Testa.....	44
2.1.10.2 Endospermo.....	44
2.1.10.3 Embrión.....	46
2.1.11 Composición química del grano de sorgo.....	47

2.1.11.1	Carbohidratos	48
2.1.11.2	Proteínas.....	49
2.1.11.3	Valor nutricional de la proteína	50
2.1.11.4	Grasas	51
2.1.11.5	Fibra dietética	51
2.1.11.6	Almidón Resistente	53
2.1.11.7	Vitaminas y minerales.....	53
2.1.11.8	Compuestos fenólicos.....	54
2.1.11.9	Capacidad Antioxidante	55
2.2	NIXTAMALIZACIÓN.....	57
2.2.1	Tecnología alternativa	58
2.3	EXTRUSIÓN	58
2.3.1	Aplicación de la extrusión en alimentos a base de grano de sorgo... 60	
2.3.2	Tipos de extrusores	61
2.3.3	Principales variables en el proceso de extrusión.....	63
CAPÍTULO 3.....		66
3.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	70
3.2	EQUIPOS.....	71
3.3	MATERIA PRIMA.....	72
3.4	LIMPIEZA Y MOLIENDA DE GRANO.....	72
3.5	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO	73
3.5.1	Dimensión del grano.....	73
3.5.2	Peso 1000 granos (PMG).....	73
3.5.3	Peso hectolitro y Densidad aparente	74

3.5.4	Índice de flotación.....	75
3.6	OBTENCIÓN DE LA HARINA CONTROL POR EL PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACIÓN.	76
3.7	OBTENCIÓN DE HARINAS POR EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	77
3.8	ELABORACIÓN DE TORTILLAS DE SORGO	78
3.9	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN	79
3.9.1	Determinación del contenido de humedad	79
3.9.2	Determinación del contenido de proteína.	79
3.9.3	Determinación de cenizas.	81
3.9.4	Determinación del extracto etéreo.....	82
3.10	EVALUACIONES NUTRACÉUTICAS DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN.....	83
3.10.1	Determinación de fibra dietética total.	83
3.10.1.1	Fibra insoluble.....	84
3.10.1.2	Fibra soluble	85
3.10.2	Preparación del extracto metanólico	86
3.10.3	Fenoles totales	87
3.10.4	Flavonoides	89
3.10.5	Taninos Condensados.....	91
3.11	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN	92
3.11.1	Método ABTS	93
3.11.2	Técnica de DPPH.....	95

3.12 CUANTIFICACIÓN DEL ALMIDÓN RESISTENTE DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN.....	97
3.13 DIGESTIBILIDAD <i>IN VIVO</i> DE PROTEÍNAS.....	99
3.13.1 Cuantificación de proteínas método Bradford	99
3.13.2 Digestión y absorción gastrointestinal	101
3.13.3 Boca in vivo	101
3.13.4 Estómago <i>in vitro</i>	102
3.13.5 Intestino Delgado <i>ex vivo</i>	102
3.13.6 Manejo de los animales después del sacrificio.....	105
3.14 DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	106
CAPÍTULO 4.....	107
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	107
4.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO	107
4.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SORGO Y DE LAS HARINAS OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN.....	108
4.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS TORTILLAS OBTENIDAS DE LAS HARINAS DE SORGO NIXTAMALIZADAS POR EXTRUSIÓN Y DE MANERA TRADICIONAL	114
4.4 EVALUACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR EXTRUSIÓN Y POR EL PROCESO TRADICIONAL.....	117
4.4.1 Compuestos fenólicos	117
4.4.2 Actividad Antioxidante (CAO) y Almidón Resistente (AR)	126

ÍNDICE

4.5 CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS POR MÉTODO BRADFORD	132
CAPÍTULO 5.....	140
5.1 CONCLUSIONES	140
CAPÍTULO 6.....	142
6.1 BIBLIOGRAFÍA	142

ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA
Tabla 1. Análisis proximal de las partes componentes del sorgo.	32
Tabla 2. Composición química promedio de algunos cereales.	35
Tabla 3. Valores para la curva de calibración.	66
Tabla 4. Cantidades para realizar la curva de calibración.	67
Tabla 5. Valores para realizar la curva de calibración.	68
Tabla 6. Valores para preparar las concentraciones del método ABTS.	70
Tabla 7. Valores para concentraciones montadas en Micro-placa.	71
Tabla 8. Valores para las concentraciones para la curva de calibración.	72
Tabla 9. Valores y concentraciones para curva de calibración de almidón resistente	74
Tabla 10. Curva estándar del método Bradford para la cuantificación de proteínas.	75
Tabla 11. Caracterización física del grano de sorgo blanco.	81
Tabla 12. Condiciones de las harinas extruidas.	82
Tabla 13. Caracterización bromatológica de harinas de sorgo nixtamalizadas por extrusión y de manera tradicional.	83
Tabla 14. Caracterización bromatológica de tortillas extruidas, tortilla de sorgo y maíz nixtamalizado.	85
Tabla 15. Contenido de compuestos de fenólicos en harinas nixtamalizadas de sorgo obtenidas por extrusión y proceso tradicional.	87
Tabla 16. Contenido de compuestos fenólicos en tortillas.....	89
Tabla 17.	90
Tabla 18. Capacidad antioxidante de tortillas obtenidas de las harinas de sorgo a diferentes tratamientos por extrusión y nixtamalización tradicional.....	91
Tabla 19.	92
Tabla 20.	92
Tabla 1. Análisis proximal de las partes componentes del sorgo.	45
Tabla 2. Composición química promedio de algunos cereales.....	48

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Izquierda: 2,5 cm, Derecha: 2,5 cm, Encuadernación: 1 cm, Sin Encabezado de primera página diferente

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla 3. Valores para la curva de calibración.	88
Tabla 4. Cantidades para realizar la curva de calibración.	89
Tabla 5. Valores para realizar la curva de calibración.	91
Tabla 6. Valores para preparar las concentraciones del método ABTS.	93
Tabla 7. Valores para concentraciones montadas en Micro-placa.	94
Tabla 8. Valores para las concentraciones para la curva de calibración.	96
Tabla 9. Valores y concentraciones para curva de calibración de almidón resistente.....	98
Tabla 10. Curva estándar del método Bradford para la cuantificación de proteínas.	99
Tabla 11. Caracterización física del grano de sorgo blanco.	107
Tabla 12. Condiciones de las harinas extrudidas.	108
Tabla 13. Caracterización bromatológica de harinas de sorgo nixtamalizadas por extrusión y de manera tradicional.	109
Tabla 14. Caracterización bromatológica de tortillas extrudidas, tortilla de sorgo y maíz nixtamalizado.	115
Tabla 15. Contenido de compuestos de fenólicos en harinas nixtamalizadas de sorgo obtenidas por extrusión y proceso tradicional.	117
Tabla 16. Contenido de compuestos fenólicos en tortillas.....	122
Tabla 17. Capacidad antioxidante y almidón resistente de harinas y tortillas de sorgo a diferentes tratamientos por extrusión y nixtamalización tradicional.....	126
Tabla 18. Capacidad antioxidante de tortillas obtenidas de las harinas de sorgo a diferentes tratamientos por extrusión y nixtamalización tradicional.....	127
Tabla 19. Tabla 0. Capacidad Antioxidante de las harinas de sorgo extrudidas, nixtamalizada y cruda por el método DPPH.....	128
Tabla 20. Tabla 0. Capacidad Antioxidante de las harinas de sorgo extrudidas, nixtamalizada y cruda por el método DPPH.....	129

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Cursiva

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Cursiva

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Principales países productores de sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Principales Estados productores de sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Planta de sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. En la parte superior izquierda se muestra el Sorgo Escobero,.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 5. Estructura del grano de Sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Estructura del grano de sorgo. Sección transversal (Rooney, 1971).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Alimentos donde se encuentra la fibra soluble e insoluble.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 8. Semilla de sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9. Sorgo nixtamalizado.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10. Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo, (González, 1988).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11. Grano de sorgo blanco.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12. Esquema general de experimentación.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13. Semilla del grano de sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14. Vernier Caliper Mitutoyo 536.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15. Grano de sorgo "RB-paloma".....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16. Prueba de densidad aparente en grano de sorgo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17. Solución de Nitrato de sodio para índice de flotación.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18. Molino Nixtamatic para la obtención de harina control.....	¡Error! Marcador no definido.

Con formato: Fuente: 12 pto

Figura 19. Lado izquierdo: Molino PULVEX 200. Lado derecho: Masa de sorgo extrudida..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 20. Extrusor para diferentes productos, CICATA, Qro..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 21. a) Tortillas de sorgo; b) Máquina tortilladora..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 22. Equipo utilizado para la determinación de proteína por el método de Kjeldhal..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 23. Muestra de incineración..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 24. Aparato de Soxhlet..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 25. Del lado izquierdo muestras portegidas de la luz. Del lado derecho muestra filtrada para la obtención de fibra insoluble..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 26. Equipo empleado para realizar filtración de fibra dietética..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 27. Lado izquierdo: Muestras de harina; Lado derecho: Matraces para extractos metanolicos..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 28. Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcon).. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 29. Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcon).. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 30. Material utilizado para depositar muestras.... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 31. Tubos de ensayo en incubación..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 32. Incisión abdominal en la línea media para la extracción del intestino delgado..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 33. a) Lado izquierdo: Peso del intestino de rata; b) Lado derecho: Intestiones delgados de rata sumergidos en suspesión tampón de Krebs-Ringer..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 34. Ratas macho cepa Wistar..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 35. Proteína abosrbida en estómago de las muestras..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 36. Proteína de la fracción digerida de las muestras en el intestino delgado.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1. Principales países productores de sorgo.	38
Figura 2. Principales Estados productores de sorgo.	39
Figura 3. Planta de sorgo.....	41
Figura 4. En la parte superior izquierda se muestra el Sorgo Escobero,	42
Figura 5. Estructura del grano de Sorgo.	43
Figura 6. Estructura del grano de sorgo. Sección transversal (Rooney, 1971).	47
Figura 7. Alimentos donde se encuentra la fibra soluble e insoluble.	52
Figura 8. Semilla de sorgo.....	56
Figura 9. Sorgo nixtamalizado.	57
Figura 10. Ejemplo de alimentos extruidos a base de harinas.....	61
Figura 11. Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo, (González, 1988).....	63
Figura 12. Esquema general de experimentación.	71
Figura 13. Semilla del grano de sorgo.....	73
Figura 14. Vernier Caliper Mitutoyo 536.....	73
Figura 15. Grano de sorgo "RB-paloma".....	74
Figura 16. Prueba de densidad aparente en grano de sorgo.	75
Figura 17. Solución de Nitrato de sodio para índice de flotación.....	75
Figura 18. Molino Nixtamatic para la obtención de harina control.	77
Figura 19. Lado izquierdo: Molino PULVEX 200. Lado derecho: Masa de sorgo extrudida.....	77
Figura 20. Extrusor para diferentes productos, CICATA, Qro.	78
Figura 21. a) Tortillas de sorgo; b) Máquina tortilladora.....	79
Figura 22. Equipo utilizado para la determinación de proteína por el método de Kjeldhal.....	80
Figura 23. Muestra de incineración.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 24. Aparato de Soxhlet.	83
Figura 25. Del lado izquierdo muestras protegidas de la luz.	84
Figura 26. <i>Equipo empleado para realizar filtración de fibra dietética.</i>	86
Figura 27. Lado izquierdo: Muestras de harina; Lado derecho: Matraces para extractos metanolicos.	87
Figura 28. <i>Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcón).</i>	88
Figura 29. Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcón).	92
Figura 30. Material utilizado para depositar muestras.	102
Figura 31. Tubos de ensayo en incubación.	102
Figura 32. Incisión abdominal en la línea media para la extracción del intestino delgado.	104
Figura 33. a) Lado izquierdo: Peso del intestino de rata; b) Lado derecho: Intestinos delgados de rata sumergidos en suspensión tampón de Krebs-Ringer.	105
Figura 34. Ratas macho cepa Wistar.	106
Figura 35. Proteína abosrbida en estómago de las muestras.	138
Figura 36. Proteína de la fracción digerida de las muestras en el intestino delgado.	138
Figura 37. Proteína de la fracción digerida de las muestras en el intestino delgado.	139

RESUMEN

En el mundo el sorgo es el quinto cereal más cultivado y consumido después del maíz, arroz, trigo y cebada. Para nuestro país, el uso del sorgo está enfocado principalmente para el consumo animal y en menor proporción para consumo humano. Unas de las principales características que han hecho viable su incorporación al mercado es que posee menores necesidades hídricas para su crecimiento, por lo tanto se adapta mejor a regiones secas, y su característica más importante es que este cereal se puede considerar un sustituto del maíz, ya que su composición química es similar a éste.

La tortilla es el alimento básico de la dieta de los mexicanos, éstas se producen principalmente de la harina obtenida a partir del proceso tradicional de nixtamalización. Sin embargo, éste proceso presenta algunos inconvenientes tales como: alto consumo de agua, gran cantidad de efluentes contaminantes y pérdida de nutrientes, solo por mencionar algunos. Por lo anterior, han surgido investigaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías, que permitan producir masas y harinas nixtamalizadas, que cumplan con el objetivo de minimizar o eliminar estos problemas. Una de las tecnologías más prometedoras para ésta industria es el proceso de extrusión el cual presenta la ventaja de utilizar poca agua, además de combinar un proceso térmico-mecánico que contribuye con la calidad nutricional de los productos tratados con esta tecnología. Por lo anterior, el objetivo de éste trabajo fue evaluar el efecto de extrusión y del proceso tradicional de nixtamalización sobre la calidad nutricional y nutracéutica, así como en la biodisponibilidad de las proteínas del sorgo. Los tratamientos evaluados fueron harinas extrudidas ó HSE (bajo las siguientes condiciones con una velocidad de tornillo de 10 y 20 rpm, humedad a 50 y 60% y la temperatura de procesamiento de 80°C, 90°C y 100°C; y se comparó con sorgo crudo ó HSN y maíz nixtamalizado (HMN) de manera tradicional.

Con formato: Izquierda: 2,5 cm, Derecha: 2,5 cm, Arriba: 2,5 cm, Abajo: 2,5 cm, Encuadración: 1 cm

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

A partir de las harinas se procesaron tortillas, se midió el contenido nutricional, nutraceuticos y la biodisponibilidad de proteínas por la técnica de intestino invertido.

Los resultados mostraron que las tortillas obtenidas de las HSE aumenta en 10% la biodisponibilidad de proteínas comparadas con las tortillas obtenidas a partir de las HSN. En tanto que las tortillas obtenidas de las HMN fueron las que presentaron menor biodisponibilidad. Por lo anterior, el sorgo puede ser una alternativa viable en la nutrición de los mexicanos

Palabras clave: Tortillas de sorgo, extrusión, biodisponibilidad, nutraceuticos, nixtamalización.

kava_04@hotmail.com

ABSTRACT

Sorghum is the fifth most cultivated and consumed cereal in the world, only after corn, rice, wheat and barley. For our country, the use of sorghum is mainly focused for animal consumption and is less used for humans. One of the main features that have made their incorporation feasible to the market is that it has lower water needs for growth making it best suitable for dry regions, and most importantly, its chemical composition is similar to corn, therefore it can be used as a substitute for this cereal.

The tortilla is a main food in the Mexican diet, they are mainly produced from flour obtained from the traditional nixtamalization process. However, this process has some drawbacks such as: high water consumption, lots of polluting effluents and nutrient loss, just to name a few. There have been research to develop new technologies that can produce dough and nixtamalized flour, complying with the objective to minimize or eliminate these problems. One of the most promising technologies for this industry is the extrusion process which has the advantage of using little water while combining a thermal-mechanical process that contributes to the nutritional quality of the products treated with this technology. The aim of this work was to evaluate the effect of extrusion against the traditional nixtamalization process to obtain the nutritional and nutraceutical quality and bioavailability of the sorghum's proteins on each process. The treatments were extruded flour (HSE), under the following conditions with a screw speed of 10 and 20 rpm, humidity of 50 and 60% and a processing temperature of 80 ° C, 90 ° C and 100 ° C; It is compared with sorghum (HSN) and nixtamalized corn (HMN) traditional way.

From the processed flour, tortillas was obtained, then measured its nutritional and nutraceutical content, and the bioavailability of proteins by the technique of inverted intestine.

ABSTRACT

The results obtained showed that the HSE tortillas increases 10% in bioavailability compared to proteins obtained from the HSN tortillas. While tortillas obtained from HMN, had lower bioavailability. In conclusion, sorghum is a viable alternative for corn flour in Mexican nutrition.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN INTRODUCCIÓN

El sorgo es el quinto cereal más cultivado y consumido en el mundo después del maíz, el arroz, el trigo y la cebada (FAOSTAT, 2010). Ha sido considerado como un sustituto del maíz, ya que la composición química del grano de sorgo es similar a éste. (Maclean *et al.*, 1981).

México se ubica entre los cinco principales productores de sorgo, aportando un 11% de las cosechas mundiales. Estados Unidos de América, India, el Sudán y Nigeria, son los países productores que se encuentran arriba de México y que en conjunto aportan más del 70% de la producción mundial.

El sorgo posee características agronómicas especiales que hacen viable su incorporación a la rotación de cultivos. Comparando con otros cultivos de verano, el cereal posee menores necesidades hídricas, se adapta mejor a regiones secas y es un cultivo que aporta buenos rastrojos necesarios para desarrollar una agricultura sustentable y la recuperación del suelo y su fertilidad (Vallati, 2008).

De acuerdo a la variedad, el sorgo se puede utilizar para consumo humano y para la alimentación animal. Mientras que sus fenoles, antioxidantes y sus ceras reductoras del colesterol ofrecen a la industria una fuente potencialmente importante de nutracéuticos (Taylor *et al.*, 2006). También posee propiedades como insumo para la producción de papel, adhesivos, refinamiento de minerales, elaboración de embutidos (Vitale *et al.*, 1998),

Con formato: Título 1, Punto de tabulación: No en 13,01 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Punto de tabulación: No en 13,01 cm

Con formato: Título 2, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0,37 cm, Sangría francesa: 0,89 cm, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 2,14 cm

Con formato: Título 2, Izquierda, Sangría: Izquierda: 2,14 cm, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,02 cm

A través de la molturación del grano de sorgo se obtiene la harina, comparable con la de trigo, utilizándose como mezclas para la elaboración de panificados y de confitería (Chessa, 2007a).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,02 cm

Los productos elaborados a base de harina de sorgo no poseen gluten lo que los hace aptos para el consumo de los celíacos; (Gallardo *et al.*, 2013). Ésta enfermedad es una intolerancia permanente al gluten que se presenta en individuos genéticamente predispuestos, caracterizada por una reacción inflamatoria a la ingesta de gluten, de base inmune, en la mucosa del intestino delgado que dificulta la absorción de macro y micronutrientes debido a la atrofia de las vellosidades intestinales.

La incorporación al mercado de los híbridos de sorgo color blanco, sin taninos condensados, ha permitido obtener la calidad justa y deseada para la elaboración de los alimentos antes mencionados (Chessa, 2007b).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,02 cm

En ésta investigación se trabajó con harinas instantáneas de sorgo blanco por el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas, comparándoseles con harinas elaboradas por el proceso tradicional de nixtamalización, donde se realizaron caracterizaciones químicas y nutracéuticas, tanto a las harinas como a las tortillas obtenidas por estos dos procesos, para finalizar con la ~~biodisponibilidad~~ biodisponibilidad de proteína que posee la tortilla de sorgo por el proceso de extrusión contra la de maíz nixtamalizado.

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,77 cm

1.2 PROBLEMÁTICA

A nivel mundial la demanda de alimentos ha crecido y en un futuro cercano se prevé una crisis alimentaria, por lo que es necesario contar con productos alternativos para enfrentar dicha situación. En México, la presencia de sequía, altas temperaturas y altos costos de producción de cultivos como el maíz y trigo han hecho que los productores se inicien en el sorgo que es un cereal más rentable y con capacidad para adaptarse a las áreas que presentan condiciones climáticas donde solamente este cultivo puede desarrollarse.

El sorgo blanco, al igual que otros cereales, es una buena fuente de vitaminas del complejo B como la tiamina, la riboflavina y niacina. Los principales minerales presentes en el grano de sorgo son el potasio, fósforo, hierro y en menor proporción el calcio.

Según la FAO, las mejoras que se consigan en producción, disponibilidad, almacenamiento, utilización y consumo de este grano, contribuirán a la seguridad alimentaria y a la nutrición de los habitantes.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El sorgo es el segundo grano más importante en nuestro país. Este cultivo posee diversas características, como es su resistente a la sequía y al calor, la adaptación a diversos ambientes y su alta variabilidad genética, fácil molienda, buena cocción, excelente sabor y un contenido nutricional importante. Sin embargo se ha reportado que éste grano presenta algunas desventajas tales como: el alto contenido de taninos, lo cual confiere un sabor astringente que repercute en la comestibilidad, reduce la ingesta alimentaria y por lo tanto el desarrollo corpóreo, además de disminuir la digestibilidad de las proteínas cuando el grano es molido y cocido.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0,11 cm, Sangría francesa: 0,89 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0,11 cm, Sangría francesa: 0,89 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,11 cm, Primera línea: 0,89 cm

La tortilla es el alimento más consumido en México y se produce principalmente de la harina obtenida a partir del proceso tradicional de nixtamalización. Debido a los inconvenientes que presenta éste proceso, han surgido investigaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías hacia la producción de masas y harinas de maíz nixtamalizadas, que cumplan con el objetivo de minimizar o eliminar estos problemas. La extrusión de alimentos, es uno de los procesos que más se ha estudiado. Éste consiste en hacer pasar el cereal molido con cierta humedad específica, bajo un tratamiento térmico-alcalino en el cual el material es forzado a fluir bajo ciertas condiciones de calentamiento, generándose cizallamiento debido a que pasa por una boquilla diseñada para dar forma o expandir los ingredientes.

Por lo que en el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la extrusión sobre la calidad nutricional y nutracéutica de harinas nixtamalizadas de sorgo. Así como evaluar la biodisponibilidad de las proteínas en un proceso *in vivo* de las tortillas elaboradas a partir de las mismas.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,37 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,37 cm, Primera línea: 0,88 cm

1.4 HIPÓTESIS

El proceso por extrusión disminuye el contenido de taninos y aumenta la biodisponibilidad de proteínas de sorgo.

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Sangría francesa: 0,88 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Primera línea: 0,88 cm

1.5 OBJETIVOS

1.1

1.5.1 Objetivo general

Determinar el efecto de los procesos por extrusión y nixtamalización tradicional sobre sus propiedades fisicoquímicas, los compuestos fenólicos y la biodisponibilidad de proteínas de sorgo.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0,13 cm, Sangría francesa: 0,87 cm

Con formato: Normal

Con formato: Título 3, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm, Espacio Antes: 12 pto

1.5.2 Objetivos específicos

- Obtener harinas de sorgo mediante el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas.
- Caracterizar químicamente las harinas de sorgo nixtamalizadas por extrusión y el proceso tradicional.
- Evaluar el contenido de compuestos nutraceuticos de las tortillas de sorgo obtenidas por extrusión y proceso de nixtamalización tradicional.
- Determinar la biodisponibilidad de las proteínas de sorgo en las harinas y tortillas obtenidas por extrusión y por nixtamalización tradicional.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Espacio Antes: 12 pto

Con formato: Título 3, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

1.22.1.1 El sorgo

1.2.1 —_Generalidades

~~El sorgo es una planta que pertenece a la división de las Fanerógamas, subdivisión de las Angiospermas, clase de las Monocotiledóneas, orden de las Glumifloras, familia de las Gramíneas, subfamilia de las Panicoídeas. El sorgo es una planta que pertenece a la división de las Fanerógamas, subdivisión de las Angiospermas, clase de las Monocotiledoneas, orden de las Glumifloras, familia de las Gramíneas, subfamilia de las Panicoídeas, tribu de las~~

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Izquierda: 2,5 cm, Derecha: 2,5 cm, Arriba: 2,5 cm, Abajo: 2,5 cm, Encuadernación: 1 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 2,54 cm

Con formato: Normal

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0 cm, Sangría francesa: 1 cm

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Título 4, Sangría: Sangría francesa: 1,65 cm

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Andropogoneas (Glig y Schürhoff, 1942; Hutchinson, 1944), y su nombre científico es *Sorghum vulgare* pers.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Se le conocen más de 400 variedades, entre las cuales se cuentan los sorgos escoberos, los sorgos para grano y los sorgos forrajeros pero solo unas 50 son de importancia comercial

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

2.1.2 Origen del sorgo

4.2.2

Con formato: Normal

Los datos arqueológicos y los registros históricos documentan que fue cultivado principalmente por sus granos comestibles y que es originario de África, de la zona del Sudán, Etiopía, el Chad y Camerún. Si bien los primeros registros de arqueobotánica demuestran claramente que en la India el sorgo se domesticó alrededor del año 2000 a.C. (Wet *et al.*, 1966), es evidente que se cultivó en África para obtener alimentos, es anterior a su aparición en Asia, y se estima que se haya producido entre los años 4000 a.C. y 3000 .a. La proporción de la utilización del sorgo como alimento ha aumentado progresivamente, actuando como un alimento básico esencial en muchas partes del mundo en desarrollo, se consume en formas diversas, que varían de una región a otra. Las mejoras que se le consigan son en producción, disponibilidad, almacenamiento, utilización y consumo de éste grano,

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm, Espacio Antes: 12 pto, Diseño: Claro (Blanco)

~~E~~l cual contribuirá a la seguridad alimentaria y a la nutrición de los habitantes (FAO, 1995).

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm, Espacio Antes: 12 pto, Diseño: Claro (Blanco)

En la actualidad, el sorgo blanco es una alternativa viable para la alimentación humana. Los principales alimentos preparados son tortillas, galletas y atoles.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,11 cm

Otros alimentos tradicionales preparados con sorgo incluyen el pan con y sin fermentación, bebidas alcohólicas y no alcohólicas. Asimismo, en muchos países el sorgo es molido hasta hacerlo harina, la cual se amasa con agua y se cuece como pan plano, sin levadura para producir tortillas, además de ser una buena fuente de vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina y niacina) y minerales (potasio, fósforo, hierro y menor proporción el calcio) (Montes *et al.*, 2012).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm, Espacio Antes: Automático

En una investigación realizada en el año en curso por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, se trabajó con sorgo blanco para la obtención de harinas instantáneas (10 y 20 rpm, con una humedad de 50 y 60% y una temperatura de procesamiento de 80, 90 y 100°C) por el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas. Para esto se caracterizaron las harinas, masas y tortillas obtenidas por dicho proceso, teniendo un control elaborado por el proceso tradicional de nixtamalización. Teniendo como resultado que la mejor masa y tortillas fueron bajo las condiciones con una velocidad de tornillo de 10 rpm, 60 % de humedad y una temperatura de 100°C, esto se debe a que la velocidad de tornillo era menor 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 último una temperatura mayor asegura que los gránulos de almidón se gelatinicen y den paso a la formación de una masa de mejor calidad. Por lo tanto es factible la obtención de harinas de sorgo blanco por el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas logrando ser un sustituto de la tortilla tradicional de maíz nixtamalizado.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm, Espacio Antes: Automático

2.1.3 Importancia y Usos

1.2.3

El sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) es un cereal que puede tolerar climas secos o húmedos, lo cual permite su producción en tierras marginales, por ello año tras año crece el valor del sorgo como fuente de alimentos para el hombre y los animales y como materia prima para uso industrial. Por lo tanto, suscita un interés cada vez mayor, en un mundo que debe enfrentar el aumento constante de la población y la existencia limitada de recursos para la producción de alimentos con un contenido nutricional capaz de mejorar la vida de la población (FAO, 1997). El hecho de haber obtenido variedades más rendidoras y resistentes a insectos y enfermedades y el perfeccionamiento de las técnicas de cultivo logrado en los últimos años, han determinado un enorme aumento de la producción.

Las principales características que han ayudado a su aceptación y dispersión por todo el mundo son: resistencia a sequía, resistencia a calor, amplio rango de adaptación a diferentes ambientes y una alta variabilidad genética. También el grano posee cualidades como son: fácil trilla, resistencia a insectos, buena cocción, excelente sabor y un contenido nutricional importante, a su utilización en el consumo humano (SIAP-SAAGRPA, 1997).

El sorgo es uno de los principales granos en nuestro país. Casi la totalidad se usa para nutrir de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales. Aunque también, en menor medida, se puede

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Espacio Antes: 0 pto, Después: 8 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,11 cm, Espacio Después: 8 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,11 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,11 cm, Espacio Antes: 0 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

preparar la harina de sorgo sola o en composición con otras harinas para la fabricación de galletas y pan. (FAO, 1997).

En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa, además en la fermentación aceto-butílica donde se producen 3 solventes importantes: alcohol, acetona y butanol.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Queda por mencionar el empleo que tienen las panículas de ciertos sorgos, para la fabricación de escobas. Dichas panículas se prestan para ello por tener sus ramificaciones (raquillas) sumamente largas. Para este efecto la panícula se cosecha cuando las semillas se encuentran en el estado lechoso, una vez hecho esto se procede a despojar de su semilla después de lo cual se cura, quedando así lista para la manufactura de escobas o “escobetillas” (SIAP-SAAGRPA, 1997).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

1.2.42.1.4 Producción Mundial y Nacional

Con formato: Espacio Después: 8 pto

Es uno de los cultivos que proporcionan más del 85% de calorías de los alimentos del mundo. Las últimas estadísticas de la FAO sobre la superficie y el volumen de producción del sorgo, que corresponden al año 2009, se cultiva en 105 países en una superficie de 39.969.624 hectáreas en total en todo el mundo.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

~~Cuarenta y De los países un~~

~~países africanos~~ Africanos 41 producen sorgo, mientras que 20 países cultivan este cereal en América del Norte y del Sur.

En Asia y el Medio Oriente, Europa y Oceanía, lo producen 25, 14 y 5 países, respectivamente. Más de la mitad de la superficie mundial de producción del sorgo está en África (60,6%), mientras que el 22,2% corresponden a países de

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Asia y el Medio Oriente. En América, el Pacífico, Oceanía y Europa el sorgo cubre el 14,9%, 1,92% y 0,39% de la superficie mundial cultivada de sorgo, respectivamente.

Los 10 países con mayor superficie dedicada al cultivo de sorgo en el ciclo 2010-2011, en orden decreciente, son: Nigeria, los Estados Unidos, México, la India, el Sudán, Argentina, China, Australia, Etiopía y Burkina Faso (Figura 1).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

En cuanto al consumo mundial de éste grano se incrementó en el ciclo 2010 al 2011 un 5.5%, al alcanzar 64.6 millones de toneladas y ha crecido a una tasa promedio de 1.3% en diez años.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Los cinco principales países productores son los principales consumidores de sorgo en el mundo (EEUU, México, India, Sudán y Argentina), con el 58.9% de participación.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Principales Productores de Sorgo en el Mundo (Ciclo 2010-2011)

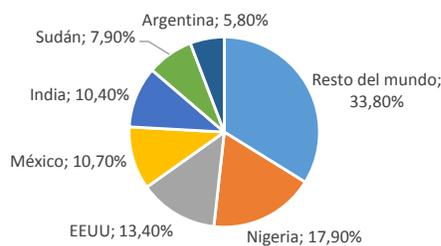


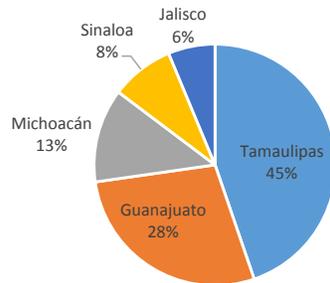
Figura 1. Principales países productores de sorgo.
Fuente: Con base en datos del USDA [2009año?????](#).

Con formato: Centrado, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

En México en el año 2009, Tamaulipas, Guanajuato, Michoacán, Sinaloa y Jalisco fueron los principales productores de sorgo en el país (Figura 2), con una participación del 80.5% en la superficie sembrada, 77.2% en el volumen producido y 75.8% en el valor generado. Otros estados que destacan por su nivel de producción son Nayarit y Morelos.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm, Espacio Después: 8 pto

Principales Estados Productores de Sorgo en México, 2009



Figura

2.

Principales Estados productores de sorgo.
Fuente: Con base en datos de SIAP-SAGARPA, [año????-2009](#).

El liderazgo de Tamaulipas en la producción de sorgo se debe a la extensa superficie que cultiva, 941 mil hectáreas, el 48.1% del total nacional, ya que su rendimiento de 2.9 ton/ha es menor al promedio nacional de 3.8 ton/ha en el 2009.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

4.2.52.1.5 Descripción botánica

La planta (Figura 3) posee raíz fibrosa y bastante extensa, pero las raíces maduras son en su totalidad adventicias con numerosas ramificaciones laterales.

Con formato: Izquierda

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm, Espacio Después: 0 pto

Los tallos (1) son cilíndricos, erectos, sólidos y pueden crecer a una altura de 0.0609m a 4.50_m, estando divididos longitudinalmente en canutos

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

(entrenudos) cuyas uniones las forman los nudos y de los cuales emergen las hojas. Cada nudo está provisto de una yema lateral.

Las hojas (2) son largas, delgadas, persistentes y aparecen alternadamente sobre el tallo. Tienen la característica de enrollarse durante los períodos de sequía, lo cual contribuye a reducir la transpiración y a hacer a la planta más resistente a la falta de agua.

La panoja o inflorescencia (3) es terminal y puede estar envuelta por la hoja bandera o alejada de ella a diferentes distancias. Las espiguillas que componen a la panoja están en pares y cada una de ellas posee dos florecillas, una que es fértil y otra que es estéril. La panoja puede ser compacta o abierta, esta última es deseable por que se previenen enfermedades y ataque de pájaros.

Los granos son de diferentes formas y tamaños y el color puede ser blanco, café, amarillo, crema, morado, chocolate o rojo.

El sorgo no exhibe polinización cruzada y la planta es autógama.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,63 cm



Dibujo de sorgo

Figura 3. Planta de sorgo.

Fuente: www.botanical-online.com/sorgo.htm

FUENTE: ¿????

2.1.6 Tipos de sorgo

1.2.6

En México se cultivan tres variedades de sorgo (Figura 44), de acuerdo principalmente con su uso:

- I. Sorgo escobero, variedad que tiene una mayor precocidad y resistencia, cuya espiga se utiliza para elaborar escobas.
- II. Sorgo forrajero, dulce o sacarino, considerado nutritivo, sobre todo estando verde.
- III. Sorgo grano, son aquellas variedades no sacarinas, de las que se explota el grano, que es la principal materia prima en la industria de alimentos balanceados.

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, 11 pto, Negrita, Cursiva

Con formato: Normal

Con formato: Normal, Izquierda

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, 11 pto, Cursiva

Con formato: Centrado, Espacio Después: 0 pto

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Normal, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,85 cm, Espacio Antes: 12 pto

Con formato: Fuente: Sin Negrita



Figura 4. En la parte superior izquierda se muestra el Sorgo Escobero, del lado derecho el Sorgo Forrajero y debajo de ellos el Sorgo Grano.

Fuente: Financiera rural (monografía sorgo grano) 2011. REFERENCIA???

Con formato: Normal

Con formato: Fuente:
(Predeterminado) +Cuerpo, 11 pto

Con formato: Fuente:
(Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Centrado, Sangría:
Izquierda: 0 cm, Interlineado:
Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Izquierda:
0,48 cm

Con formato: Sangría: Izquierda:
0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

4.2.72.1.7 **Clima**

Se adapta bien al crecimiento en áreas áridas o semiáridas cálidas. Soporta sequía durante un periodo largo y reemprende su crecimiento cuando cesa la sequía. Para germinar necesita una temperatura de 12 a 13°C.

4.2.82.1.8 **Composición física del grano de sorgo**

La estructura del grano de sorgo tiene un rol importante en el procesamiento y características de calidad del grano.

Con formato: Sangría: Izquierda:
0,48 cm

Con formato: Sangría: Izquierda:
0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Según Domanski et al., (1997) reportaron, que el grano está formado por un 84% de endospermo, 10% de germen o embrión y 6% de pericarpio.

El grano o cariósipide de sorgo es una esfera aplanada aproximadamente de 4.0 mm de longitud por 3.5 mm de ancho por 2.5 mm de grosor, con un peso de 25 a 35 mg (Rooney et al., 1980) (Figura 5).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

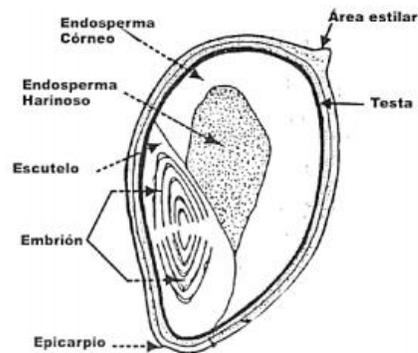


Figura 5. Estructura del grano de Sorgo. Sección longitudinal (Frederiksen, 1986).

1.2.8.12.1.9 Cáscara o gluma

Se elimina durante la trilla.

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

1.2.8.12.1.10 Pericarpio

Es la parte externa del grano, que sirve de capa protectora contra el ataque de plagas y condiciones ambientales adversas. Está constituido de tres capas delgadas: Epicarpio, Mesocarpio y Endocarpio.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

El epicarpio es la parte externa y está compuesta por dos o tres capas de células.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

El mesocarpio, situado debajo del epicarpio puede variar en su espesor. Cuando es grueso contiene granos de almidón, el grano tiene apariencia opaca. Los granos translúcidos o pelados tienen el mesocarpio muy fino y no contienen granos de almidón.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

La capa más interna o endocarpio consiste en células cruzadas y tubulares que son el principal punto de ruptura cuando se remueve el pericarpio durante la molienda seca del grano.

1.2.8.32.1.10.1 Testa

Es una capa pigmentada ubicada debajo del pericarpio; presente en algunas variedades de sorgo. Cuando la testa está presente contiene la mayoría de los taninos condensados del grano (sorgos marrones), los cuales mejoran la resistencia a la intemperie, retardando la germinación y reduciendo el enmohecimiento de las semillas. Los taninos están asociados a los efectos anti-nutricionales como el de reducir la digestibilidad al asociarse con las proteínas.

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,25 cm, Primera línea: 1 cm

Con formato: Fuente: Sin Negrita

1.2.8.42.1.10.2 Endospermo

Está compuesto por la capa de aleurona y de las porciones periféricas, córneas y harinosas, constituyendo la mayor porción del grano con 82% (Figura 5, Tabla 1).

Con formato: Título 4, Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Tabla 1. Análisis proximal de las partes componentes del sorgo.

<u>Fracción</u>	Porcentaje (%)	Ceniza (%)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Almidón (%)
Grano entero	100.0	1.7	12.3	3.6	73.8
Endospermo	82.3	0.4	12.3	0.6	82.5
Germen	9.8	10.4	18.9	28.1	13.4
Pericarpio	7.9	2.0	7	4.9	34.6

Fuente: Domaniski, C., y Argentina, (1997).

Tabla con formato

Con formato: Fuente: 9 pto

La capa de aleurona se localiza inmediatamente entre el pericarpio (o la testa si está presente) y el endospermo periférico; es una capa de células pequeñas gruesas con forma de bloques y alto contenido en proteína, grasas, minerales, fitina y enzimas (Maiti, 1986). Asociado con los cuerpos de proteína, se encuentra el ácido fítico que es la mayor fuente de fósforo en el sorgo, así como en otros cereales y semillas. El ácido fítico forma complejos con los cationes trivalentes y divalentes como el hierro, calcio, zinc y magnesio; lo que origina su indisponibilidad para el cuerpo.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,77 cm

El ácido fítico también se une fuertemente con las proteínas a pH bajos; por tal motivo, la presencia de ácido fítico es considerada perjudicial en las características nutricionales del grano. En general, se aha comprobado que los niveles de fitato en el grano de sorgo son más altos que en el trigo (3.35 mg/g de peso seco); sin embargo, es más bajo que en frijol y soya. Los reservorios de fitato y total de fósforo en sorgo, se encuentran principalmente en la aleurona y caseína casaca del grano (Doherty *et al.*, 1982).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,9 cm

El endospermo córneo, tiene una interface continua entre el almidón y la proteína. Los gránulos de almidón tienen una forma poliédrica angulosa encontrándose depresiones en los sitios donde están localizados los cuerpos de proteína.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,9 cm

El endospermo harinoso, se encuentra localizado en el centro del grano y está rodeado por el endospermo córneo (Rooney y Clark, 1968). Este tiene células flojamente empaquetadas, los gránulos de almidón son esféricos y no están sostenidos por la matriz proteica.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,9 cm

1.2.8.5 **2.1.10.3 Embrión**

Es una parte muy pequeña la cual constituye cerca del 10% del peso seco del grano y da origen a la nueva planta. Como en los demás cereales, está formada

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,9 cm, Espacio Después: 8 pto

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

por el escutelo, la plántula y la radícula (Figura 5). De las distintas fracciones del grano es la que tiene el mayor porcentaje de proteínas, lípidos y minerales.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm

Con formato: Diseño: Claro

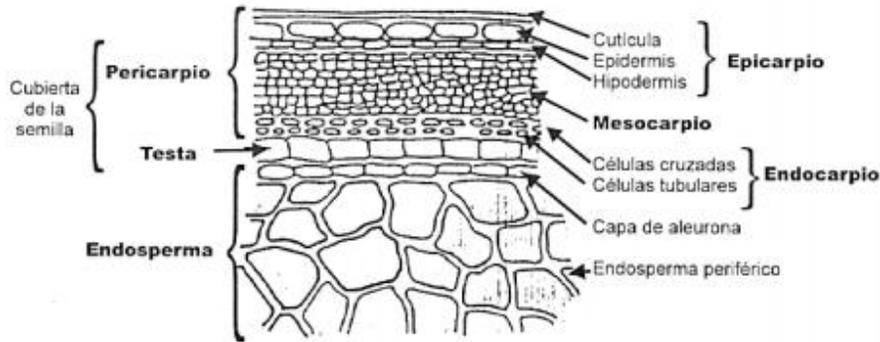


Figura 6. Estructura del grano de sorgo. Sección transversal (Rooney, 1971).

Con formato: Epígrafe, Centrado, Interlineado: sencillo

1.2.92.1.11 Composición química del grano de sorgo

Rooney y Clark (1968), Shoup *et al.* (1970) y Petersen (1969), reunieron una serie de datos los cuales son de utilidad en el estudio de la composición química de este grano y su valor nutritivo.

La composición química del sorgo es bastante similar a la del maíz con la diferencia en el contenido de almidón y proteína que es mayor en sorgo

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Sangría francesa: 1,27 cm, Espacio Después: 8 pto

Con formato: Fuente: Sin Negrita, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm, Espacio Después: 8 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm, Espacio Después: 0 pto

(Virupaksha y Sastry, 1968), así como en el contenido de aceite que es mayor en maíz y una menor energía metabolizable (3256 contra 3400 calorías/Kg).

El grano de sorgo está constituido básicamente por proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas, minerales y polifenoles, en porcentajes variables según genotipo y ambiente, como puede verse en la Tabla 2.

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm, Espacio Después: 0 pto

Con formato: Izquierda

Tabla 2. Composición química promedio de algunos cereales.

	Sorgo	Maiz	Trigo
Proteína %	7.0-14.0	10.0	11.5
Lípidos %	2.4-6.5	4.5	2.0
Carbohidratos %	70.0-90.0	71.0	70.0
Fibra %	1.2-3.5	2.0	2.0
Ca (mg (100)-1)	11.0-58.6	12.0	30.0
P (mg (100)-1)	167.0-751.0	340.0	380.0
Fe (mg (100)-1)	0.9-20.0	2.5	3.5
Tiamina (mg (100)-1)	0.2-0.5	0.35	0.40
Niacina (mg (100)-1)	2.9-6.4	2.00	5.0
Riboflavina (mg (100)-1)	0.1-0.2	0.13	0.10

Comentario [MG1]: Debe ser con letras minúsculas

Fuente: Domaniski Y, C., Argentina, (1997).

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Espacio Antes: 0 pto, Después: 8 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

1.2.9.12.1.11.1 **Carbohidratos**

El almidón es la principal forma de almacenaje de carbohidratos. El almidón del sorgo consiste en amilopectina, un polímero de cadena ramificada de la glucosa, y de amilosa, un polímero de cadena lineal. Valores que van del 56 al 73 por ciento, el contenido medio de almidones del sorgo es del 69,5% (Jambunathan y Subramanian, 1988). Alrededor del 70-80 por ciento del almidón del sorgo es amilopectina, mientras que el restante 20-30 por ciento es amilosa (Deatherage *et al.*, 1955). Factores tanto genéticos como ambientales influyen en el contenido de amilosa del sorgo (Ring *et al.*, 1982).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

La digestibilidad del almidón en el grano de cereal determina el contenido energético disponible del grano, lo que depende de su hidrólisis por las enzimas pancreáticas. En la elaboración del grano con métodos como el hervido, la cocción

Con formato: Fuente: Sin Negrita, Cursiva

a presión, la exfoliación en hojuelas su inflamiento o la ~~micronización~~ ~~sincronización~~ del almidón, aumenta la digestibilidad del almidón del sorgo. Lo cual se atribuye a una liberación de granos amiláceos sin la matriz proteínica H7 que los hace más susceptibles a la digestión enzimática (McNeill *et al.*, 1975; Harbers, 1975).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 0 cm

1.2.9.2.1.11.2 Proteínas

Las proteínas de sorgo son la albúmina y la globulina, las cuales se localizan principalmente en el germen, capa de la aleurona y pericarpio y se caracterizan por su elevado contenido de lisina. Otra proteína es la Kafirina (fracción de ~~prolaminas~~ ~~prolaminas~~) que se caracteriza por ser rica en ácido glutámico y aminoácidos no polares, pero deficiente en lisina y metionina. La fracción de Kafirina está correlacionada positivamente con el contenido de proteína en el sorgo. Se localiza en cuerpos de proteína esféricos, los cuales están asociados con los gránulos de almidón en una matriz proteica.

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Las gluteínas representan la mayor parte de los constituyentes de la matriz proteica del endospermo del sorgo (Rooney *et al.*, 1980). Por su parte Neucere y Sumrell (1971), hacen referencia a cuatro fracciones de proteínas, las albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas; señalando además que los perfiles de aminoácidos y la distribución de proteínas en las porciones aisladas, muestran algunas diferencias entre variedades de sorgo que estudiaron. Los autores mencionados enfatizan que la metionina, cisteína, isoleucina y leucina fueron los aminoácidos limitantes en las fracciones de albúminas y globulinas, en tanto que la lisina constituyó el aminoácido limitante en las fracciones de prolaminas y gluteínas de diferentes variedades de sorgo. Los investigadores hacen resaltar el hecho de que la ~~as prolaminas~~ prolaminas fue la fracción más abundante, seguida de la albúmina.

En la distribución de las fracciones proteínicas de las variedades de sorgo Naik, (1968) se determinó que la albúmina va del 2 al 9 por ciento de la proteína total, mientras que la globulina oscilaba del 12.9 al 16 por ciento, la prolamina del 27 al 43.1 por ciento y la glutelina del 26.1 al 39.6 por ciento.

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,9 cm

~~1.2.9.2.4~~ 2.1.11.3 Valor nutricional de la proteína

La digestibilidad de la proteína es el grado en que una proteína es hidrolizada y absorbida en el tracto digestivo del organismo que la ingiere. Un factor que afectan la utilización de la proteína por parte del organismo es la digestibilidad de la proteína, Akingbala *et al.*, (1981), consideran que los sorgos ricos en taninos son bajos en digestibilidad de su proteína. Otro factor que afecta la digestibilidad de la proteína es el efecto de cocción de los granos de sorgo, el cual es señalado por Hamaker *et al.*, (1986), quienes informan que después de cocinado, la digestibilidad de la proteína de sorgo se disminuía significativamente.

Con formato: Título 4, Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm, Espacio Después: 0 pto

1.2.9.32.1.11.4 **Grasas**

El contenido de grasa cruda del sorgo es del 3 por ciento, que es superior al del trigo y arroz pero inferior al del maíz. Las capas de germen y aleurona son los principales determinantes de la fracción de lípidos. El germen en sí aporta un 80 por ciento de la grasa total (Rooney y Serna-Saldivar, 1991). Como la grasa del grano se halla mayormente localizada en el germen, en los mutantes del sorgo con la gran fracción del embrión, el contenido de grasa es superior (5,8 a 6,6 por ciento) al normal (Jambunathan, 1980). Las variaciones en el contenido de grasa del grano que se reportan en la literatura se atribuyen en parte a los diferentes sistemas de solventes que se han utilizado para la extracción de la grasa del grano. Price y Parson (1975) reportaron que la fracción de lípidos neutros era del 86,2 por ciento, de gliolípidos del 3,1 por ciento y de fosfolípidos del 10,7 por ciento en la grasa del sorgo.

La composición de ácidos grasos de la grasa de sorgo (49 por ciento de ácido linoleico, 31 por ciento de oleico, 14 por ciento de palmítico, 2,7 por ciento de linoleico y 2,1 por ciento de esteárico) es análoga a la del maíz pero resultaba más insaturada (Rooney, 1978).

1.2.9.42.1.11.5 **Fibra dietética**

La Fibra dietética se define como la suma de la lignina y polisacáridos que no están hidrolizados por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano. Se emplea para describir una variedad de polisacáridos vegetales indigestibles, en

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm, Espacio Antes: Automático, Después: Automático

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm, Espacio Antes: Automático, Después: Automático

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

particular la celulosa, las hemicelulosas, las pectinas, los oligosacáridos, las gomas y varios compuestos lignificados.

Kamath y Belavady (1980) observaron que el principal componente de fibra insoluble del sorgo era la celulosa y variaba del 1.19 al 5.23% en las variedades de sorgo.

Existe dos tipos de fibra dietaria: soluble e insoluble. La fibra soluble retiene el agua y se vuelve gel durante la digestión e igualmente retarda la digestión y la absorción de nutrientes desde el estómago y el intestino. Entre tanto, la fibra insoluble parece acelerar el paso de los alimentos a través del estómago y los intestinos y le agrega volumen a las heces.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm



Figura 7. Alimentos donde se encuentra la fibra soluble e insoluble.

1.2.9.52.1.11.6 Almidón Resistente

Se ha encontrado que no todas las formas de almidón son biodisponibles y fácilmente absorbidos. A esta pequeña fracción de almidones no digeribles se les conoce como “almidón resistente” (AR) que junto con la fibra dietética insoluble y soluble es fermentado en el colon por la flora microbiana dando importantes beneficios a la salud humana (Asp y Bjürk, 1992). Esta fracción de almidón resistente se ha subdivido en tres tipos. El tipo 1 o almidón físicamente inaccesible, está atrapado en la matriz celular, por ejemplo en semillas de leguminosas (Tovar *et al.*, 1992a). El AR de tipo 2 se refiere a aquel contenido en granos de almidón nativo cristalino que es poco susceptible a hidrólisis, por ejemplo: el contenido en papas crudas o plátanos verdes (Englyst y Cummings, 1987), mientras que el AR tipo 3 corresponde a aquella fracción de almidón retrogradado, producido en alimentos refrigerados después de su cocción (Noah *et al.*, 1998).

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

1.2.9.62.1.11.7 Vitaminas y minerales

El sorgo es una fuente rica de vitaminas B. Blessin *et al.* (1958) aislaron los carotenoides de sorgo y los separaron para identificarlos como gluteína, ceaxantina y β -caroteno; donde variedades de endospermo amarillo de sorgo contienen β -caroteno, que podría ser convertido en vitamina A por el cuerpo humano. Las concentraciones de tiamina, riboflavina y niacina que hay en el sorgo son comparables a las del maíz (Tabla 2). Otras vitaminas B presentes en el sorgo en cantidades notables son la B₆, la folacina, el ácido pantoténico y la biotina (United States National Research Council/National Academy of Sciences, 1982).

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,15 cm

Se han encontrado cantidades detectable de otras vitaminas en el grano como lo son las liposolubles (D, E y K).

La materia mineral en el grano del sorgo está distribuida desigualmente y se halla más concentrada en el germen y en el revestimiento de la semilla (Hubbard *et al.*, 1950). Pedersen y Eggum (1983) han demostrado que en las harinas de sorgo

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

se verifica una reducción progresiva en los contenidos de minerales como ~~fosfórefosforo~~, hierro, zinc y cobre en la relación a los índices cada vez más bajos de extracción.

1.2.9.7 2.1.11.8 **Compuestos fenólicos**

En el grano de sorgo existen compuestos fenólicos que pueden afectar su color, apariencia y calidad nutricional. Su clase y cantidad está determinada por factores genéticos y por las condiciones ambientales durante el desarrollo del grano (Rooney *et al.*, 1980; Baroccio *et al.*, 1985). Dichos compuestos pueden ser clasificados en base a su composición química en tres grupos: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Hahn *et al.*, 1984).

Con formato: Título 4, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

Los ácidos fenólicos están presentes a través de todo el grano, pero se concentran en la capa más externa (pericarpio, testa y aleuroa). No tienen efecto sobre la calidad nutricional del grano, solo pueden causar un color indeseable en los

alimentos cuando son procesados bajo condiciones alcalinas. Al igual que los ácidos fenólicos, los flavonoides (no parecen tener efectos sobre la digestibilidad ni en la palatabilidad de los granos), están presentes, principalmente como los pigmentos anthocyanidina o antocianina que suelen aparecer en los pericarpios de sorgos blancos y rojos,

Desde el punto de vista de la producción de granos, los taninos otorgan ventajas agronómicas como la resistencia a la depredación por pájaros (Doggett,

1970) cuando la carga de estos últimos no es alta y, en algunos casos, al daño por mohos e insectos (Swain, 1965; White, (1957). Además, confieren una calidad favorable de almacenamiento al grano, y una mayor resistencia al deterioro ambiental. Al mismo tiempo, los taninos tienen un impacto negativo en el grano de sorgo como alimento, ya que presentan un efecto antinutricional. Dicho efecto es causado por la formación del complejo proteína-tanino, el cual ocasiona una disminución en el aprovechamiento del grano por los animales al verse disminuida su digestibilidad y, por lo tanto, la disponibilidad de nitrógeno para los

microorganismos del rumen. Esto último acarrea también una importante disminución en la digestión del almidón.

Los efectos anti nutricionales de los taninos incluyen la disminución de la digestibilidad de las proteínas y la eficiencia de utilización de los nutrientes desde un 3 a un 15% (Waniska, 2000). La presencia de taninos en el grano también puede afectar la degradabilidad del almidón. Esto fue hallado por Hibberd *et al.* (1982) y Streeter *et al.* (1990b) quienes, a través de la producción de gas in vitro, observaron una menor disponibilidad del almidón en aquellos genotipos con alta concentración de taninos.

1.2.9.7.4 **2.1.11.9 Capacidad Antioxidante**

La oxidación es de los procesos más importantes en el deterioro de los productos alimenticios. Ya que repercute en el color, sabor y textura de los

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 1,15 cm

Con formato: Título 4, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,1 cm, Primera línea: 0,54 cm

alimentos. Los antioxidantes protegen la calidad de un alimento y previenen su deterioro ocasionado por esas reacciones oxidativas (Baardseth, 1989).

Los antioxidantes contenidos en los alimentos, son en su mayoría, compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides).



Figura 8. Semilla de sorgo.

En el sorgo existen compuestos antioxidantes que son un beneficio para la salud humana (Figura 8), por lo que su ingesta puede llegar a prevenir enfermedades como el cáncer y enfermedades del corazón (Vasudeva *et al.*, 2004;

Awika *et al* 2003; Awika y Rooney, 2004) y en su capacidad antiinflamatoria (Burdette *et al.*, 2010).

Posee 573 mg g^{-1} más antioxidantes que la manzana (295 mg g^{-1}), y valores similares a la mora azul (842 mg g^{-1}), fruta conocida por su alto contenido de antioxidantes (Wu *et al.*, 2004). Además que la actividad antioxidante de los granos aumenta durante su cocción y tostado (Slavin *et al.*, 2004).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Primera línea: 1,13 cm

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Primera línea: 1,13 cm

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Primera línea: 1,13 cm, Diseño: Claro (Blanco)

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Primera línea: 1,13 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,12 cm, Primera línea: 1,13 cm, Diseño: Claro (Blanco)

1.32.2 NIXTAMALIZACIÓN

El cocimiento alcalino o nixtamalización es una de las formas más antiguas de preparación de alimentos con base en granos, principalmente el maíz en las culturas mesoamericanas (Carrillo, 2000). El maíz nixtamalizado es usado para producir tortillas, frituras de maíz y productos similares (Jackson, 1992).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Generalmente para el proceso de nixtamalización, el maíz es cocinado en agua (proporción agua-grano 3:1) con 0.8 a 1% de cal o cenizas con relación al peso del grano, a temperaturas por arriba de los 65°C por varias horas, seguido de un reposo durante toda la noche. La temperatura exacta y la concentración de cal varía, pero cada proceso es diseñado para solubilizar y remover el pericarpio y cocinar parcialmente (gelatinizar) el almidón. Las proteínas del endospermo son parcialmente solubilizados y las proteínas del germen son solubilizados completamente. La mayoría del pericarpio es removido durante el cocimiento, el reposo y lavado (Rooney, 2000). Cualquier resto de pericarpio disminuye la calidad de los productos obtenidos del nixtamal (grano después del cocimiento alcalino). La presencia de pericarpio también afecta el color y la textura y dan una apariencia no uniforme al producto (U.S. Grains Council, 2002).



Figura 9. Sorgo nixtamalizado.

Algunos inconvenientes de la nixtamalización según Figueroa (2004) es que existen pérdidas de vitaminas, minerales, proteínas, grasa y fibra, además del largo tiempo de procesamiento que está asociado con problemas de contaminación efluentes con un alto nivel de sólidos solubles.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

2.2.1 Tecnología alternativa

1.3.1

Han surgido investigaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales tratan de reemplazar o modificar la manera tradicional de cocción hidrotérmica para la elaboración de masas y harinas nixtamalizadas. Como se mencionó con anterioridad este tratamiento está relacionado con los inconvenientes de la contaminación, los cuales a la industria tortillera le es de gran importancia (Paredes y Saharópulos, 1983), por lo tanto se están buscando alternativas que cumplan con el objetivo de minimizar o eliminar estos problemas.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Algunas de estas nuevas técnicas son: laminación (flakes); explosión (puffing), en esta se utilizan granos enteros a los cuales se le reduce su densidad alrededor de diez veces (Fast, 1991) y la cocción por extrusión, donde se utilizan especialmente harinas, sémolas y almidones (Harper, 1981; Gómez *et al.*, 1991; Batterman-Azcona y Hamaker, 1998; Fast, 1991; González, *et al.*, 2002).

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: 12 pto

1.42.3 EXTRUSIÓN

La tecnología de la extrusión se destaca en la industria de alimentos como un proceso eficiente, utilizándose en el procesamiento de cereales y proteínas, para alimentación humana y animal. Inicialmente esta tecnología se desarrolló para el transporte y formado de materiales, tales como masas y pastas.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

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

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

boquilla de una dada geometría y con un caudal masivo pre-establecido, durante este transporte se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (González, *et al.*, 2002).

De manera más técnica el extrusor consiste en un tornillo sinfín que tiene hilo y paso poco profundo, el cual gira dentro de un cilindro alimenticio, introducido con un grado de humedad de bajo a mediano, que sale por un orificio o matriz situada en el extremo del extrusor. Durante el proceso de extrusión y cocción, el producto alimenticio usualmente alcanza por muy poco tiempo temperaturas elevadas. Al salir por la matriz, la rápida disminución de la presión hace que el agua recalentada escape, con lo cual se dilata y esponja el producto (Boucher, 1985).

El proceso ofrece un amplio rango de aplicaciones, como: alimentos precocidos o preformados, cereales instantáneos para el desayuno, botanas, golosinas, alimentos para bebé, sopas instantáneas, proteínas vegetales texturizadas, sustitutos de carne, harinas compuestas y enriquecidas, sustitutos lácteos, productos de panificación, almidones modificados y gelatinizados, productos de confitería, pastas para sopas, espaguetis y macarrones, alimentos para animales y aditivos de uso industrial.

De acuerdo a Kokini (1992) la extrusión posee ventajas que la han hecho popular y que han orientado a la industria a una nueva tendencia en la elaboración de alimentos; entre esas ventajas se hallan las siguientes:

- **Bajo costo:** Los requerimientos de espacio para el trabajo y procesamiento por unidad de producción son menores que en otros sistemas de cocinado y formado.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm, Espacio Antes: 0 pto, Después: 8 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm, Espacio Antes: 0 pto, Después: 8 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,37 cm, Primera línea: 0,63 cm

- **Características de los productos:** Los alimentos pueden ser producidos en una gran variedad de formas, texturas, colores y apariencias.
- **Eficiencia del uso de la energía:** El cocinado de alimentos se lleva a cabo con escasa humedad, por lo que se requiere un menor tiempo de secado.
- **Nuevos alimentos:** La mayoría de los ingredientes que incluyen proteínas y carbohidratos pueden ser procesados para aumentar la variedad de los productos.
- **Alimentos no efluentes:** Hay poca pérdida de sólidos, lo que reduce la emisión de efluentes desde la planta de procesamiento.

— **Proceso automático:** Hay una gran capacidad de producción.

2.3.1 Aplicación de la extrusión en alimentos a base de grano de sorgo

4.4.1

Se considera como una tecnología de procesamiento adecuada para el grano de sorgo la aplicación del proceso de extrusión, para la obtención de harinas pre-gelatinizadas y cereales instantáneos con diferentes propiedades de sabor, textura y formato, modificando sus propiedades funcionales.

Los productos extruidos presentan larga vida de anaquel debido a las altas temperaturas usadas durante el proceso además de que ocurre una menor destrucción de nutrimentos y mejora la digestibilidad (Mans 1982; Rossem y Miller

1973). El proceso de extrusión puede ser controlado mediante la manipulación de uno o más de las siguientes variables: temperatura en las diferentes zonas del extrusor, contenido de humedad de la materia prima, relación de compresión,

Con formato: Justificado, Espacio Después: 0 pto, Esquema numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: Viñeta + Alineación: 0,63 cm + Tabulación después de: 1,27 cm + Sangría: 1,27 cm

Con formato: Fuente: Color de fuente: Negro

Con formato: Justificado, Sangría: Izquierda: 1,27 cm, Espacio Antes: Automático, Después: Automático

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto, Sin Negrita

Con formato: Normal, Justificado, Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm, Interlineado: 1,5 líneas

Con formato: Fuente:

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto, Sin Negrita

Con formato: Normal, Justificado, Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Interlineado: 1,5 líneas

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto, Sin Negrita

tiempo de exposición, diámetro del dado y tamaño de partícula (Harper, 1989). Anderson *et al.* (1969), utilizaron el proceso de extrusión para gelatinizar harinas de sorgo. Los productos obtenidos presentaron mayores índices de absorción de agua a altos contenidos de humedad en la materia prima, y los índices de solubilidad en agua fueron mayores a bajos niveles de humedad. Señalando los autores, que productos con esas características son apropiados para preparación de bebidas y para usos industriales donde se requieran propiedades adhesivas.



Figura 10. Ejemplo de alimentos extruidos a base de harinas.
Fuente: foodextrudermaker.es

Hay gran similitud en características funcionales presentadas por los productos (Harper, 1981) extruidos de sorgo obtenidos de "grits" con relación al maíz. Guerra (1985), indica la obtención por proceso de extrusión de productos expandidos de sorgo decortinado con baja densidad, indicando que las harinas pueden ser empleadas en la preparación de alimentos instantáneos o en diversos usos industriales (industria textil, papel y otras). Martínez (1988), utilizó el proceso de extrusión utilizando como materia prima sorgo integral y decortinado, para la obtención de harinas instantáneas para elaboración de tortillas

2.3.2 Tipos de extrusores

1.4.2

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Centrado

Con formato: Fuente: 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Negrita, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Centrado, Espacio Después: 0 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm

Los primeros extrusores para alimentos se registran alrededor de 1870 (extrusor a pistón para salchichas y carnes procesadas), posteriormente vinieron los extrusores a tornillos que se utilizaban para elaborar fideos y dar formas a masas de cereales pre-cocidas, entre 1935-1940 (extrusores formadores), luego los extrusores-cocedores aparecen entre 1940-1950 para elaborar “snaks” y harinas precocidas. (González, *et al.*, 2002).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Existe una amplia variedad de extrusores los cuales se caracterizan por los diseños y los sistemas de control de la operación. Por un lado se destacan los de doble tornillo y por otro los monotornillos particularmente llamados de bajo costo tal como el diseño “Brady” (Harper, 1981).

Con formato: Izquierda

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Los extrusores monotornillos funcionan como una “bomba de fricción”, es decir el material es transportado por el efecto de “arrastre”. El material alojado dentro del canal del tornillo es “empujado” hacia la salida por el frente de los filetes. Ese transporte se produce solamente si la fricción del material/harina o sémola sobre la superficie interna del cañón o cilindro, es suficientemente mayor que la fricción del material sobre la superficie del tornillo.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

El mecanismo de transporte de los extrusores de doble tornillo es muy diferente.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Los filetes de ambos tornillos “solapan” o penetran cada uno dentro del canal del otro. De esta manera el “paso” de cada tornillo es interrumpido por el filete del otro formándose en cada tornillo una sucesión de “cámaras” con forma de “C” con los extremos desplazados, el caudal resultante es el producto del volumen total de cámaras “C” por la velocidad de rotación. Los extrusores de doble tornillo ofrecen

Con formato: Justificado, Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Justificado

ventajas, tales como un mejor control de la operación y una mayor diversidad de productos.

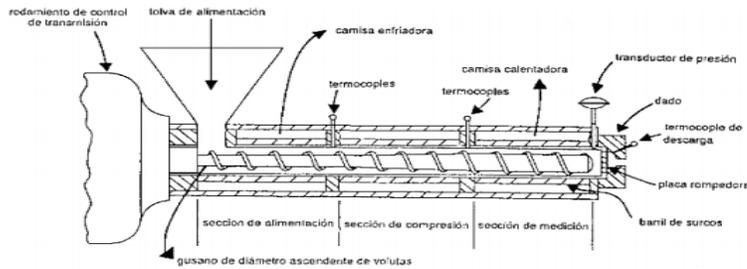


Figura 11. Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo, (González, 1988).

Figura 10. Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo, (González, 1988).

4.4.32.3.3 Principales variables en el proceso de extrusión

El grado de cocción se incrementa al aumentar la temperatura, la relación de compresión del tornillo, al disminuir la húmeda y el diámetro de la boquilla.

Una mayor velocidad de rotación se traduce en un menor tiempo de residencia y por lo tanto un menor grado de cocción pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por lo tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma, distribución de las partículas etc.) como del nivel de fricción alcanzado, que a su vez depende de la presión y de la humedad. Es importante destacar que las transformaciones se producen en tiempos cortos y menores al tiempo de residencia medio. Otro aspecto a destacar es que la temperatura es considerada una variable independiente solo en el caso de la extrusión con control de temperatura desde el exterior, para el caso de

Con formato: Justificado

Con formato: Fuente: 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, 10 pto, Sin Negrita, Color de fuente: Automático

Con formato: Centrado

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Negrita

Con formato: Fuente: 10 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Izquierda

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto, Sin Negrita

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Con formato: Epígrafe, Izquierda, Interlineado: sencillo

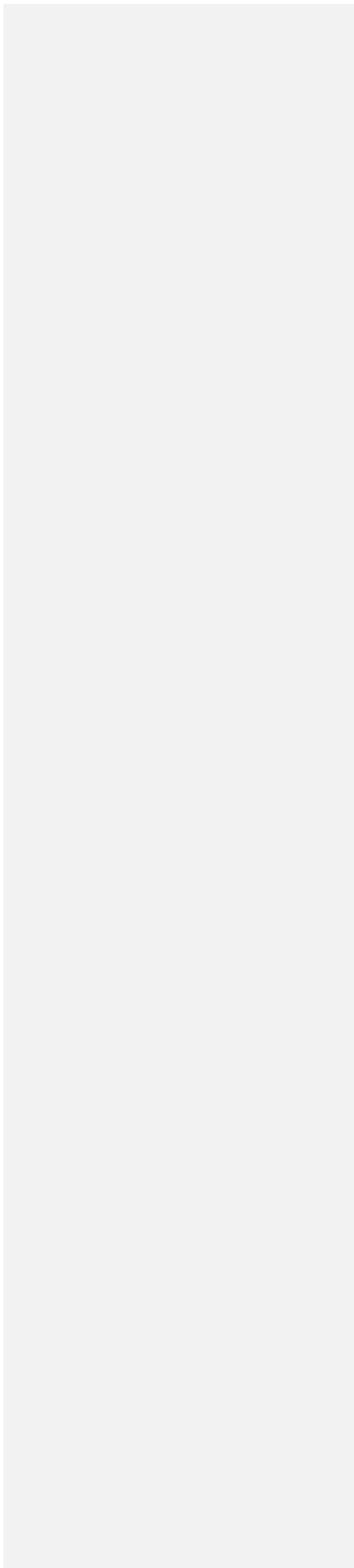
Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

extrusores autógenos la misma debe considerarse una respuesta (González, *et al.*, 2002).

Las características de la masa que fluye dentro del extrusor y sus propiedades finales dependen de su composición: humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, sales, emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción partícula-partícula.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm



CAPÍTULO 3
PROBLEMÁTICA

A nivel mundial la demanda de alimentos ha crecido y en un futuro cercano se prevé una crisis alimentaria, por lo que es necesario contar con productos alternativos para enfrentar dicha situación. En México, la presencia de sequía, altas temperaturas y altos costos de producción de cultivos como el maíz y trigo han hecho que los productores se inicien en el sorgo que es un cereal más rentable y con capacidad para adaptarse a las áreas que presentan condiciones climáticas donde solamente este cultivo puede desarrollarse.

Según la FAO, las mejoras que se consigan en producción, disponibilidad, almacenamiento, utilización y consumo de este grano, contribuirán a la seguridad alimentaria y a la nutrición de los habitantes.

El sorgo blanco (Figura 11), al igual que otros cereales, es una buena fuente de vitaminas del complejo B como la tiamina, la riboflavina y niacina. Los principales minerales presentes en el grano de sorgo son el potasio, fósforo, hierro y en menor proporción el calcio. (Montes et al., 2010).



Figura 11. Grano de sorgo blanco.

Con formato: Izquierda: 2,5 cm, Derecha: 2,5 cm, Arriba: 2,5 cm, Abajo: 2,5 cm, Encuadernación: 1 cm

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

JUSTIFICACIÓN

El sorgo es el segundo grano más importante en nuestro país. Este cultivo posee diversas características, (anteriormente mencionadas) que han ayudado a su aceptación y dispersión por todo el mundo, como es su resistente a la sequía y al calor, la adaptación a diversos ambientes y su alta variabilidad genética. Algunas de las cualidades de este grano son: resistencia a insectos, fácil molienda, buena cocción, excelente sabor y un contenido nutricional importante. Sin embargo se ha reportado que éste grano presenta algunas desventajas tales como: el alto contenido de taninos, lo cual confiere un sabor astringente que repercute en la comestibilidad, reduce la ingesta alimentaria y por lo tanto el desarrollo corpóreo, además de disminuir la digestibilidad de las proteínas cuando el grano es molido y cocido.

La tortilla es el alimento más consumido en México y se produce principalmente de la harina obtenida a partir del proceso tradicional de nixtamalización. Debido a los inconvenientes que presenta este proceso, han surgido investigaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías hacia la producción de masas y harinas de maíz nixtamalizadas, que cumplan con el objetivo de minimizar o eliminar estos problemas. El más estudiado es la extrusión de alimentos, es uno de los procesos que más se ha estudiado. Este consiste, el cual es un proceso dar a el cereal molido y con una humedad apropiada un tratamiento térmico-alcalino en el que un material es forzado a fluir, bajo ciertas condiciones de como mezclado, calentamiento, generando ce y cizallamiento debido a que pasaa través de por una boquilla diseñada para dar forma o expandir los ingredientes.

Por lo mencionado anteriormente, en este trabajo se estudiará el efecto de la extrusión, en el contenido de compuestos fenólicos y en la biodisponibilidad de proteínas del sorgo por la extrusión y por la cal incorporada. Por lo que en el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la extrusión sobre la calidad nutricional y nutraceutica de harinas nixtamalizadas de sorgo. Así como evaluar la biodisponibilidad de las proteínas en un proceso in vivo de las tortillas elaboradas a partir de las mismas.

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1

Con formato: Título 1, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Sangría: Primera línea: 0 cm, Interlineado: sencillo

HIPÓTESIS

~~El proceso de la nixtamalización tradicional y por extrusión disminuye el contenido de taninos y aumenta la biodisponibilidad de proteínas de sorgo.~~

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

OBJETIVOS

4.5 Objetivo general

~~Determinar el efecto de los procesos de nixtamalización tradicional y por extrusión y tradicional sobre propiedades fisicoquímicas, los compuestos fenólicos y la biodisponibilidad de proteínas de sorgo.~~

Con formato: Título 1

Con formato: Título 1, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

Con formato: Título 1

Con formato: Título 1, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

4.6 Objetivos específicos

Con formato: Título 1, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

~~• Obtener harinas de sorgo mediante el proceso de extrusión para la elaboración de tortillas.~~

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

~~• Caracterizar químicamente las harinas de sorgo nixtamalizadas por extrusión y el proceso tradicional.~~

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

~~• Caracterizar químicamente las tortillas de maíz y sorgo por el proceso tradicional de nixtamalización.~~

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

~~• Evaluar el contenido de compuestos nutraceuticos de las tortillas de sorgo obtenidas por extrusión y proceso de nixtamalización tradicional.~~

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

OBJETIVOS

Con formato: Título 1, Izquierda,
Interlineado: sencillo

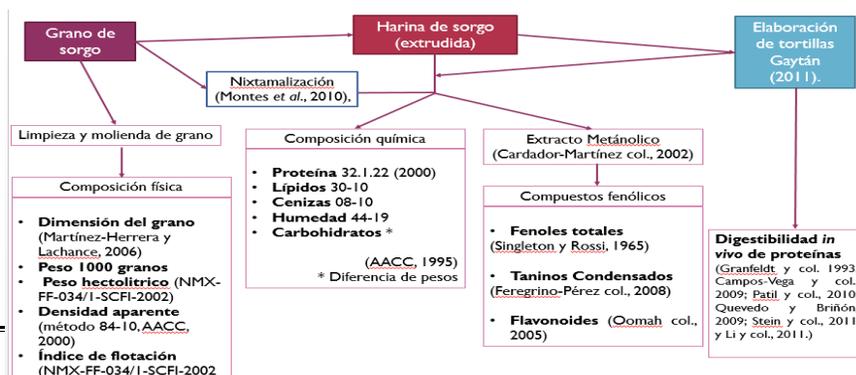
~~Determinar la biodisponibilidad de las proteínas de sorgo en en las
harinas y tortillas obtenidas por extrusión y por el proceso de
nixtamalización tradicional.~~

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos previamente descritos se estableció una metodología general, la cual consistió en caracterizar físicamente los granos de sorgo, después estos se molieron sin ningún tratamiento para obtener una harina cruda molida de sorgo (HCMS) que se utilizó como control. Posteriormente, a la HCMS se sometió al proceso de extrusión bajo tres condiciones diferentes con base en los resultados obtenidos por Sanchez-Nuñez (2014) (50% de humedad con 10 rpm, 60% de humedad con una velocidad de tornillo a 10 y 20 rpm, todas a una temperatura de 100°C). Esto con el fin de obtener las harinas para la elaboración de las tortillas requeridas. De la misma manera, Una vez conseguidas las harinas anteriores, a otra fracción de granos de sorgo se sometieron al proceso de el tratamiento de nixtamalización tradicional para la fabricación de tortillas de sorgo nixtamalizadas.

Finalmente a las harinas extrudidas y nixtamalizadas, y sus sub-productos se les realizaron las caracterizaciones químicas y determinaciones nutraceuticas para comprarlas, y evaluar el efecto del procesamiento en la biodisponibilidad de las proteínas en las tortillas de sorgo nixtamalizado por el proceso tradicional y por extrusión; y se comparó con una tortilla de maíz comercial.

En la Figura 12, se muestra el esquema general usado para el desarrollo del presente trabajo:



Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0 cm, Sangría francesa: 1 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Con formato: Fuente:

MATERIALES Y MÉTODOS

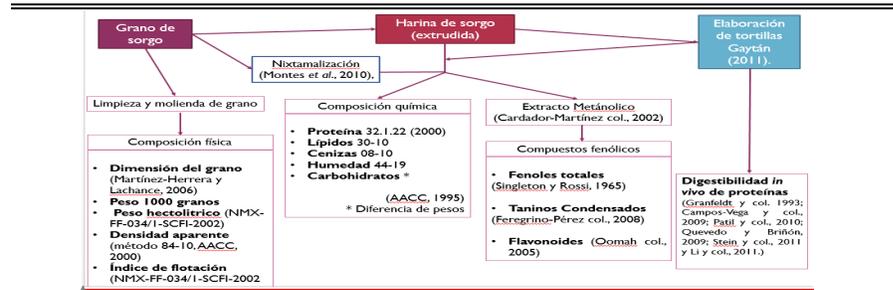


Figura 12. Esquema general de experimentación.

4.73.2 EQUIPOS

Los equipos que se utilizaron en esta investigación fueron los siguientes:

Molino PULVEX 200 de Maquinaria para molienda S.A. de C.V., México, con malla de 1.3 mm.

Balanza analítica con capacidad de 410g, con +/- 0.0001 g de precisión, Ohaus Modelo E14130, OHAUS Systems, USA.

Balanza analítica Modelo TP-214A, Denver Instrument GmbH. U.S.A.

Bascula Digital Tor-Rey Modelo EQV-W, con capacidad de 100 kg. México.

Horno de secado con circulación de aire Marca BINDER FD-53 UL 0589453, Alemania.

Horno de secado Felisa TE-H35, con temperatura máxima de 200°C, México.

Horno Mufla marca Felisa, con temperatura máxima de 1100°C, Modelo FE-331, México.

Maquina tortilladora manual de Tortilladoras González, S.A. de C.V., México.

Comal de acero inoxidable de 1.58mm de espesor.

Pistola de infrarrojo para medir temperatura marca Raytek, Santa Cruz, Ca., USA, Modelo Raynger ST-4.

Con formato: Fuente:

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,75 cm, Espacio Después: 0 pto

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Extrusor con control de temperatura y software, tecnología desarrollada en CICATA-IPN, Querétaro.

Material de vidrio para preparación y análisis de muestras.

Equipo de cómputo.

Con formato: Sangría: Primera
línea: 0 cm

4.93.3 MATERIA PRIMA

Para los experimentos del presente trabajo se utilizó granos de sorgo blanco “RB-paloma” entero, cosecha 2012; donada por el centro experimental del INIFAP-Tamaulipas.

Agua purificada comercial marca “Junghams”

Cal anhidra, calidad grado alimenticio.

Con formato: Sangría: Primera
línea: 0,73 cm

4.93.4 LIMPIEZA Y MOLIENDA DE GRANO

El grano de sorgo blanco se limpió perfectamente de partículas extrañas y se lavó.

Posteriormente el sorgo se seleccionó manualmente con el fin de retirar basura, granos dañados, y cualquier material ajeno a este (Figura 13). Más tarde se molió el grano limpio en un molino de martillos, a un tamaño de partícula 1.3 mm. La harina obtenida fue almacenada en un recipiente de vidrio cubriéndola con bolsas de plástico negras para evitar descomposición de aceite por luz solar y fue puesta en refrigeración (3.5°C) para su posterior análisis.

Con formato: Sangría: Primera
línea: 1,25 cm



Figura 13. Semilla del grano de sorgo.

REFERENCIA

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, 11 pto, Sin Negrita

Con formato: Normal, Izquierda

4.403.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO

4.40.13.5.1 Dimensión del grano

Se midió el alto, ancho y largo por triplicado a muestras de 10 granos, utilizando un Vernier a una precisión de 0.02mm (Figura 14). Los resultados se expresan en milímetros (Martínez-Herrera y Lachance, 2006).



Figura 14. Vernier Caliper Mitutoyo 536.

Fuente: Anyi Instrument Co (2009).

REFERENCIA

Con formato: Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Normal

Con formato: Fuente: +Cuerpo, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, Sin Negrita, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita, Cursiva

Con formato: Fuente: 11 pto, Sin Negrita

Con formato: Fuente: 11 pto, Cursiva

Con formato: Izquierda, Sangría: Sangría francesa: 1,27 cm, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

4.40.23.5.2 Peso 1000 granos (PMG)

A 1000 granos seleccionados al azar fueron pesados en una balanza analítica, realizándose por triplicado la prueba. Los resultados se expresan en gramos (gr). (Figura 15).



Figura 15. Grano de sorgo "RB-paloma".

1.10.33.5.3 **Peso hectolitrito y Densidad aparente**

Se colocaron los granos de sorgo de manera uniforme en un recipiente con un volumen determinado (1065 mL), una vez estando lleno en su totalidad se rasó (Figura 16).

La cantidad de granos contenidos en el recipiente se pesó y dividió entre el volumen del mismo. Esta prueba se realizó por triplicado. Reportándose como kilogramo sobre hectolitro (kg/hL). (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). De igual forma empleando esta técnica se pudo conocer la densidad aparente del grano. Esta prueba se realizó por triplicado, (método 84-10, AACC, 2000).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,61 cm

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Sangría francesa: 1,27 cm, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm



Figura 16. Prueba de densidad aparente en grano de sorgo.

1.10.43.5.4 Índice de flotación

Se evaluó la dureza del grano indirectamente a través del Índice de Flotación, para lo cual se utilizó una solución de Nitrato de Sodio (40%), a una densidad de 1.250 g/ml a un volumen de 350 ml en donde se vertieron 100 granos limpios, enteros y libres de impurezas, separando los granos en la solución por medio de un agitador de vidrio para posteriormente reposar un minuto, al término de este, el número de granos que ascendieron a la superficie se usó como Índice de Flotación (Figura 17)- (NMX-FF-034/1-SCFI-2002).

Con formato: Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lin., Punto de tabulación: No en 2 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm



Figura 17. Solución de Nitrato de sodio para índice de flotación.

1.113.6 OBTENCIÓN DE LA HARINA CONTROL POR EL PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACIÓN.

Con una relación de 3:1 (agua: sorgo) y siguiendo la metodología de (Montes *et al.*, 2010), se colocaron 6 L de agua en una estufa a temperatura de ebullición, una vez alcanzado el punto de ebullición se le adicionó el 1% de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y se esperó a que se disolviera. Posteriormente se agregó el sorgo y la mezcla se dejó hervir durante 20 minutos a la misma temperatura.

Una vez alcanzado el tiempo se retiró del fuego y se dejó reposar durante 12 horas con el propósito de que absorbiera el agua y se terminara de cocer. Después de este periodo, el grano fue lavado hasta que estuviera libre de agua del cocimiento (nejayote). A continuación se molió en un molino marca Nixtamatic para convertirlo en masa (Figura 18), la cual fue deshidrata en un deshidratador a una temperatura de 45°C, durante 24 h. Posteriormente se molió en un molino de café y se tamizó hasta alcanzar un tamaño de partícula de 250 µm (malla No.60).

Las harinas fueron colocadas en recipientes de vidrio dentro de bolsas negras de plástico y almacenadas en un refrigerador a temperatura de 3.5°C.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1 cm, Espacio Después: 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1 cm, Espacio Después: 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1 cm



Figura 18. Molino Nixtamatic para la obtención de harina control.

4.123.7 OBTENCIÓN DE HARINAS POR EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Para la elaboración de las harinas por extrusión se mezcló sorgo blanco molido variedad "RB Paloma" con cal y agua (porcentajes de acuerdo al diseño experimental). La molienda del sorgo se realizó con un molino PULVEX con malla 1.3 mm como se muestra en la Figura 19.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1 cm



Figura 19. Lado izquierdo: Molino PULVEX 200. Lado derecho: Masa de sorgo extrudida.

La mezcla de sorgo molido, cal y agua, se procesó por el extrusor (CICATA-IPN, Querétaro) (Figura 20), a diferentes condiciones de acuerdo a los tratamientos (temperatura y velocidad de tornillo).



Figura 20. Extrusor para diferentes productos, CICATA, Qro.

4.133.8 ELABORACIÓN DE TORTILLAS DE SORGO

La fabricación de las tortillas se realizó en una maquina manual especial para su elaboración (Figura 21b). 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 a una temperatura de $270 \pm 10^{\circ}\text{C}$ con tiempos de cocción de 17 s para formar la capa delgada, 50 s para formar la capa gruesa y nuevamente volteándola otros 17 s para permitir el inflado. Se midió el tiempo con un cronometro (Figura 21a).



Con formato: Sangría: Primera línea: 1,13 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Figura 21. a) Tortillas de sorgo; b) Máquina tortilladora.

1.143.9 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN

El análisis químico de los alimentos se hicieron empleando las técnicas aprobadas de la AACC (1995), permitiendo identificar la cantidad de nutrimentos que componen al sorgo, como lo son humedad, contenido de proteínas, grasas, fibra cruda y cenizas, y se obtuvo el valor de carbohidratos por diferencia de las determinaciones.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

3.9.1 Determinación del contenido de humedad

1.14.1

La determinación de humedad del grano se realizó pesando 2 g de muestra de manera homogénea en cápsulas de porcelanas previamente puestas en peso constantes y pesadas. Se colocaron las muestras en la estufa durante 24 h a 110°C, una vez listas se pasaron a un desecador para ser pesadas (temperatura ambiente). El cálculo se realizó por la diferencia de peso. Se empleó el método 44-19 de la AACC (1995).

Con formato: Sangría: Sangría francesa: 1,27 cm, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Normal, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

3.9.2 Determinación del contenido de proteína.

1.14.2

Se utilizó el método 32.1.22 de la AACC (2000), donde se determinó la proteína bruta que es equivalente a la materia nitrogenada total mediante una digestión ácida (H₂SO₄), convirtiendo el nitrógeno presente en sal de amonio, el cual es destilado y transformado en amoniaco (digestión alcalina), que también se destilo y se cuantifico por medio de una titulación indirecta del ácido sulfúrico que queda sin reaccionar. Para su determinación se pesaron 0.5 g de muestra y se pasó a un

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Normal, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

tubo del digestor con 10ml de H₂SO₄ concentrado y una pastilla de mezcla reactiva (3.5 g de Sulfato de potasio y 0.4 g de sulfato cúprico), se colocó en el sistema digestor

y posteriormente a la unidad de destilación. El amoniaco fue capturado en una

solución de ácido bórico al 4%, siendo titulado con ácido clorhídrico 0.1N. Se usó una solución indicadora de rojo de metilo-verde de bromocresol. (Figura 22).



Figura 22. Equipo utilizado para la determinación de proteína por el método de Kjeldhal.

El porcentaje de nitrógeno se calculó por la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{(V1 - V2) * meq N * Norm HCl * 100}{Peso de la muestra}$$

Dónde:

%N= Porcentaje de nitrógeno

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,63 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,61 cm

V1= Volumen en mL de HCl gastados en la muestra

V2= Volumen en mL de HCl gastados en el blanco

Meq N= miliequivalente de nitrógeno (N₂)

Norm HCl= Normalidad de la solución de HCl para la titulación

Los resultados se reportaron como porcentaje de proteína, usando el valor de 6.25 como factor de conversión de porcentaje de nitrógeno a porcentaje de proteínas de sorgo.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm

3.9.3 Determinación de cenizas.

4.14.3

Se utilizó el método AACC 08-01 (1995). El procedimiento consistió en poner los crisoles a peso contante, a los cuales se le colocaron 0.5 g de muestra; después los crisoles se pusieron en una parrilla para quemar lentamente la muestra hasta que este ya no desprendiera humo (Figura 23). Se llevaron los crisoles a una mufla para efectuar la calcinación por completo a 550°C por 3 h., hasta obtener cenizas grises o blancas. Se dejaron enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Los resultados se determinaron por diferencia de peso del crisol. Calculando el valor a través de la siguiente formula.

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Normal, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P - p) * 100}{M}$$

Dónde:

P= Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p= Masa de crisol vacío en gramos.

M= Masa de la muestra en gramos.



Figura 23. Muestra de incineración.

1.14.43.9.4 Determinación del extracto etéreo.

El método Soxhlet determina el extracto etéreo por medio de una extracción en forma directa con solventes orgánicos (éter de petróleo, éter etílico, acetona, cloroformo, ~~eteetc.~~) Se utilizó el método AACC 30-10_T (1995) (Figura 24).

El valor de extracto etéreo se determinó a través de la siguiente relación:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{(P - p)}{M} * 100$$

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Donde:

P= Masa en gramos del matraz con grasa.

p=Masa en gramos del matraz sin grasa.

M= Masa en gramos de la muestra.

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,61 cm



Figura 24. Aparato de Soxhlet.

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm

1.153.10 **EVALUACIONES ~~NUTRACÉTUCIAS~~NUTRACÉUTICAS DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN**

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm

1.15.13.10.1 **Determinación de fibra dietética total.**

Se realizó bajo la metodología descrita por Shiga *et al.*, (2003).

Con formato: Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Izquierda: 1,25 cm, Primera línea: 1,25 cm

4.15.1.13.10.1.1 Fibra insoluble

Se pesó 1 g de muestra previamente desengrasada, adicionándole 50 mL de buffer de fosfato (pH 6). Se agregó 100 μ L de α -amilasa termoestable y se colocó en baño maría 94°C por 30min, agitándose cada 5 min.

Se atemperó tres veces, en la primera se ajustó el pH a 7.5 (\pm 0.2 NaOH) y se agregó 100 μ L de proteasa, colocándose en incubación en baño María a 60°C por 30min con agitación continua. La segunda vez el pH fue ajustado a 4.3 con HCl (0.325M) y se agregó 300 μ L de amilogucosidasa, siendo incubado bajo las mismas condiciones. La tercera vez se transfirió la solución a tubos falconfalcón 50mL y se centrifugó a 3500 RPM a 4°C por 10 min. Se recolecto el sobrenadante y se guardó para fibra soluble. El restó fue filtrado con papel Whatmam #4

(previamente tarado), realizando 2 lavados con 15mL de agua destilada a 60°C. Terminado esto se dejó secar el pellet a 60-70°C por 24 h, para ser pesado el papel- (Figura 25).



Figura 25. Del lado izquierdo muestras protegidas de la luz. Del lado derecho muestra filtrada para la obtención de fibra insoluble.

La fórmula para calcular el porcentaje obtenido de fibra insoluble fue la siguiente:

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,6 cm, Espacio Antes: 0 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,6 cm, Primera línea: 0,65 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,6 cm

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 1,25 cm, Primera línea: 1,25 cm

$$\% \text{ Fibra Insoluble } \frac{W_2 - W_1}{W_{\text{muestra}}} \times 100$$

Dónde:

W₁: Peso del papel filtro

W₂: Peso del papel filtro + muestra

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

4.15.1.23.10.1.2 Fibra soluble

Del sobrenadante recolectado se juntó con 2 lavados acuosos, siendo protegido de la luz y se le adiciono un volumen de etanol al 80% al líquido de filtración de la prueba anterior (Figura 26). Se precipitó mínimo 24hrs a 4°C para centrifugar la muestra a 5500 RPM por 10 min a 4°C. Se finalizó filtrando al vacío con papel Whatman No. 42 (previamente pesado), una vez filtrado, se realizó 2 lavados, uno con 30 mL de etanol al 80% y 30 mL de acetona. Secando el papel filtro en estufa a 60-70°C por 24 hrs.

Los resultados se expresaron en porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra Soluble } \frac{W_2 - W_1}{W_{\text{muestra}}} \times 100$$

Dónde:

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,6 cm, Espacio Antes: 0 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,5 cm, Primera línea: 0,75 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,9 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

W_1 : Peso del papel filtro

W_2 : Peso del papel filtro + muestra



Figura 26. Equipo empleado para realizar filtración de fibra dietética.

~~1.15.2~~
~~1.15.3~~
~~1.15.4~~
~~1.15.5~~

~~Figura 26. Equipo empleado para realizar filtración de fibra dietética.~~

3.10.2 Preparación del eExtracto mMetanólico

~~1.15.6~~

Los tratamientos que se evaluaron fueron; harina cruda, harinas extrudidas a 10 y 20 rpm con 50 y 60% de humedad a 100°C y harina nixtamalizada todas de sorgo. Con las cuales posteriormente se elaboraron tortillas con características semejantes, determinándoseles las mismas valoraciones. En todos los casos se realizaron sus curvas de calibraciones y los extractos metanólicos para calcularlos.

Con formato: Sangría: Izquierda: 3,25 cm, Sangría francesa: 1,27 cm

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Normal, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

El extracto metanólico se realizó por lo reportado por Carador-Martínez *et al.* (2002). Se pesó 1 g de muestra previamente desengrasada, adicionándole 10 mL de metanol durante 24 h., en agitación constante a temperatura ambiente (Figura 27). Transcurrido el tiempo la muestra se centrifugó a 5000 rpm por 10 min a 4°C. El sobrenadante es recuperado y debe ser protegido de la luz (Figura 27).



Figura 27. Lado izquierdo: Muestras de harina; Lado derecho: Matracas para extractos metanolicos.

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm

3.10.3 Fenoles totales

Preparación de la curva de calibración. Se utilizó una solución estándar de ácido gálico (0.1 mg/mL) de la cual se tomaron volúmenes de 0 μ L a 160 μ L en intervalos de 20 μ L y se completó el volumen de cada uno con agua destilada. A cada uno de los estándares se le adicionaron 250 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N y se sónico por 5 minutos. Posteriormente se adicionaron 1250 μ L de

Con formato: Título 3, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Na_2CO_3 al 7%, dejando reposar 2 h en la oscuridad, finalizando con la lectura a 760 nm (Figura 28). (Singleton y Rossi, 1995).

Preparación de muestras. Se colocaron 50 μL del extracto metanólico de las muestras en viales, se le adicionaron 250 μL de agua destilada y 125 μL reactivo de Folin-Ciocalteu 1N, se sónico por 5 minutos. Agregándoles 625 μL de Na_2CO_3 al 7%, dejando reposar 2 hrs en la oscuridad, finalizando con la lectura a 760 nm.

Tabla 3. Valores para la curva de calibración.

Conc. $\times 10^{-3}$ (mg/mL)	Sol. Stock (μL)	Agua destilada (μL)	Folin (μL)	Na_2CO_3 (μL)
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>500</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>1</u>	<u>20</u>	<u>480</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>2</u>	<u>40</u>	<u>460</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>3</u>	<u>60</u>	<u>440</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>4</u>	<u>80</u>	<u>420</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>5</u>	<u>100</u>	<u>400</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>6</u>	<u>120</u>	<u>380</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>7</u>	<u>140</u>	<u>360</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>
<u>8</u>	<u>160</u>	<u>340</u>	<u>250</u>	<u>1250</u>

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: Sin Cursiva

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Centrado, Conservar con el siguiente

Tabla con formato



Con formato: Fuente: 14 pto, Sin Negrita

Figura 28. Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcón).

Con formato: Centrado

4.15.73.10.4 Flavonoides

Preparación para la curva de calibración: Se utilizó una solución estándar de rutina (2500 µg/mL), de la cual se tomó volúmenes diferentes completándolos con metanol de acuerdo a su intervalo (Oomah *et al.*, 2005). Posteriormente se tomaron 50 µL de cada concentración y se montaron en un micro-placa adicionándoles 180 µL de metanol más 20 µL de solución 2-aminoetildifenil borato 1% metanol, realizando una lectura a 404 nm.

Preparación para muestras: Se colocaron 50µl del extracto metanólico de las muestras sobre una micro-placa por triplicado, adicionándoles 180 µl de metanol más 20 µl de solución de 2-aminoetildifenil borato 1%, la absorbancia fue medida a 404 nm. Los resultados son expresados en mg equivalentes de rutina por gramos de muestra (mg eq de rutina/ g muestra).

Tabla 3. Cantidades para realizar la curva de calibración, Tabla 4. Cantidades para realizar la curva de calibración.

Concentración (µg/mL)	Rutina (µg/mL)	Metanol (µL)
50	2000	-
25	1000	1000
10	400	1600
5	200	1800
2.5	100	1900
1	40	1960

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: Negrita, Cursiva

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: Sin Cursiva

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Negrita, Color de fuente: Automático

Comentario [MG3]: unidades

Tabla con formato

Con formato: Fuente: 12 pto

Comentario [MG2]: Estas son unidades, hay que indicar de qué???

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Título 3, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo

1.15.1 Fenoles totales

~~Preparación de la curva de calibración. Se utilizó una solución estándar de ácido gálico (0.1 mg/mL) de la cual se tomaron volúmenes de 0 µL a 160 µL en intervalos de 20 µL y se completó el volumen de cada uno con agua destilada. A cada uno de los estándares se le adicionaron 250 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N y se sónico por 5 minutos. Posteriormente se adicionaron 1250 µL de Na₂CO₃ al 7%, dejando reposar 2 h en la oscuridad, finalizando con la lectura a 760 nm (Figura 29). (Singleton y Rossi, 1995).~~

~~Preparación de muestras. Se colocaron 50 µL del extracto metanólico de las muestras en viales, se le adicionaron 250 µL de agua destilada y 125 µL reactivo de Folin-Ciocalteu 1N, se sónico por 5 minutos. Agregándoles 625 µL de Na₂CO₃ al 7%, dejando reposar 2 hrs en la oscuridad, finalizando con la lectura a 760 nm.~~

~~Tabla 4. Valores para la curva de calibración.~~

Con e- X10⁻³ mg/ ml	Sol u Set ek (µl)	Agu a dest ilad a (µl)	Foli n (µl)	Na₂C O₃ (µl)
0	0	500	250	1250
1	20	480	250	1250
2	40	460	250	1250
3	60	440	250	1250
4	80	420	250	1250
5	100	400	250	1250
6	120	380	250	1250
7	140	360	250	1250
8	160	340	250	1250

Con formato: Título 3, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Título 3, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, No conservar con el siguiente

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo



Figura 28. Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcon).

4.15.23.10.5 Taninos Condensados

Preparación para la curva de calibración: Con respecto a Feregrino-Pérez *et al.*, (2008), se utilizó una solución estándar de catequina (0.1 mg/mL) de la cual se tomaron volúmenes de 250 µL a 2000 µL en intervalos de 0.20 µg/mL. Colocando 50 µL de cada disolución y se montaron en la micro-placa adicionándoles 200 µL de la solución 1:1 HCl 8% vainillina. Para el blanco se le adicionó 50 µL de MeOH más 200 µL de HCl al 4%. Tomando lectura con una absorbancia de 492 nm. (Multiscan ascent)- (Figura 298).

Preparación para muestras: Se colocaron 50µl del extracto metanólico de las muestras sobre ~~la~~ una micro-placa por triplicado, adicionándoles 200 µL de solución 1:1 HCl 8% vainillina, la absorbancia fue medida a 492 nm. Al blanco se le adicionó 50 µL de MeOH más 200 µL de HCl al 4%.

~~Tabla 5. Valores para realizar la curva de calibración. Valores para realizar la curva de calibración.~~

~~Tabla 5. Valores para realizar la curva de calibración.~~

Concentración	Sol. Stock =	Metanol
}	Catequina	(µL)
(µg/mL)	(µL)	

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Título 3, Izquierda

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Epígrafe, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Tabla con formato

Comentario [MG4]: ¿qué material es?

0.8	2000	-
0.6	1500	500
0.4	1000	1000
0.2	500	1500
0.1	250	1750

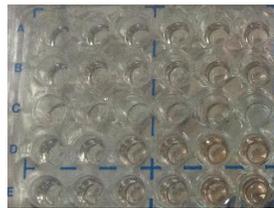


Figura 29. Curva de calibración montada en Micro-placa (Falcon/Falcón).

1.163.11 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN

Los métodos a utilizar para la determinación de la capacidad antioxidante de se basan en comprobar cómo un agente oxidante induce daño oxidativo a un sustrato oxidable, daño que es inhibido o reducido en presencia de un antioxidante. Esta inhibición es proporcional a la actividad antioxidante del compuesto o la muestra. Por otra parte, hay ensayos que se basan en la cuantificación de los productos formados tras el proceso oxidativo. Los distintos métodos difieren en el agente oxidante, en el sustrato empleado, en la medida del punto final, en la técnica instrumental utilizada y en las posibles interacciones de la muestra con el medio de reacción (Blasco *et al.*, 2007).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

4.16.13.11.1 Método ABTS

Solución estándar de trolox: se tomaron 10 ml de una solución stock de trolox 1mM (PM trolox: 250.29 g/mol). Para ser pesada una cantidad de 0.0025 g trolox

(6-Hydroxy-2,5,7, 5,7-Tetramethylchroman-2-carboxylic acid, 97%), se aforó con 10 ml con metanol (Solución T)- (Nenadis *et al.*, 2004)

Para preparar las concentraciones deseadas se tomó de la solución T y se le añadió metanol de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6. Valores para preparar las concentraciones del método ABTS. Tabla 4. Valores para preparar las concentraciones del método ABTS.

Concentración	Trolox	Trolox	MeOH
	(mg/μL)	(μL)	(μL)
	0.5	50	950
	1	100	900
	2	200	800
	3	300	700
	4	400	600
	5	500	500

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Justificado, Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, 11 pto

Con formato: Izquierda, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: No conservar con el siguiente

Con formato: Fuente:

Tabla con formato

Comentario [MG5]: Concentración (unidades)???

MATERIALES Y MÉTODOS

6	600	400
7	700	300
8	800	200

Posteriormente se pesó 0.1892 g de $K_2S_2O_8$ aforado en 5 ml con agua destila, donde fue mezclado en un vial los 5 ml de ABTS con 880 μ L de la solución de persulfato de potasio, se protegió se la luz. La nueva solución (A) se guardó en un lugar oscuro durante 12 h a temperatura ambiente para generar la formación del radical.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

A las 12 h se realizó una dilución de la siguiente manera. Dentro de un vial, forrado con papel aluminio se mezcló 230 μ L (0.23ml) de la solución A, que contenían el ABTS y 10 ml de etanol, se sónico por 2 min. Esta solución B debe tener una absorbancia entre 0.8 y 1. Debe ser verificado en el lector ELISA a una longitud de onda de 734 nm.

Una vez que la solución B obtuvo una absorbancia de 0.7 a 1 se preparó 20 ml a esta misma concentración.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: No conservar con el siguiente

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: 10 pto, Color de fuente: Automático

Tabla 7. Valores para concentraciones montadas en Micro-placa. **Tabla 5.** Valores para concentraciones montadas en Micro-placa.

Bco: Blanco	220 μ L de metanol
Ctrl: Control	20 μ L de metanol + 200 μ L de DPPH
T: Trolox	20 μ L de solución + 200 μ L de DPPH

Tabla con formato

M: Muestra

20 µL de muestra + 200
µL de DPPH

El %ARA (Actividad Antiradical) se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$\%ARA = \left[1 - \frac{Abs\ muestra}{Abs\ control} \right] \times 100$$

Para el TEAC (Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox): Se resta la absorbancia del blanco a las absorbancias de las muestras. Se sustituye la ecuación de la recta. $[] = \frac{Abs-a}{b}$. Se multiplica por el volumen de extracción (10 mL en el caso del extracto metanolico) y se divide entre los gramos de muestra. (Se multiplica por factor de dilución en caso de existir).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,61 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,63 cm, Primera línea: 0,61 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,61 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Título 3, Izquierda, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: sencillo

4.16.2 — Técnica de DPPH

3.11.2

Preparación para la curva de calibración: Se realizó siguiendo la metodología descrita por Fukumoto y Mazza⁷ (2000). Se pesó 0.0025 g de trolox para ser disuelto en 10 ml de MeOH en matraz aforado, a partir de ésta solución, fueron preparadas las concentraciones para la curva.

Con formato: Justificado, Sangría: Izquierda: 0 cm

Tabla 8. Valores para las concentraciones para la curva de calibración. **Tabla 6.** Valores para las concentraciones para la curva de calibración.

Concentración Trolox	Trolox (µL)	MeOH (µL)
0.5	50	950
1	100	900
2	200	800
3	300	700
4	400	600
5	500	500
6	600	400
7	700	300
8	800	200

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: No conservar con el siguiente

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: Negrita

Tabla con formato

Comentario [MG6]: Unidades

Preparación para el Radical: Se pesaron 0.0015g de DPPH en un matraz de 25 ml, adicionándole 20 o 20.5 ml de MeOH y fue sonicado por 15 min. El cual se aforó a 25 ml con agua HPLC, cubierto con papel aluminio y se mantuvo en refrigeración.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Colocación en micro-placa: Se colocaron 20µl de cada concentración en placa por triplicado. Para el blanco se montaron 220 µL de metanol; para el control se agregó 20µl de metanol más 200 µL de DPPH. Se tomó la lectura a 520 nm. Y se tomaron lecturas al tiempo 0, 5 y cada 10 min, hasta llegar a los 90 min.

Para la interpretación de resultados se siguió el mismo procedimiento de capacidad antioxidante por ABTS.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

1.173.12 CUANTIFICACIÓN DEL ALMIDÓN RESISTENTE DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN

~~Con referencia por~~ La muestras se analizaron con base en lo reportado por Saura – Calixto *et. Al., al.* (1993).

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,11 cm, Primera línea: 1,13 cm

~~Sse prepararon las muestras donde se~~ pesó 0.1000 g de fibra insoluble de la muestra. ~~La~~ La cual se tomó haciendo un raspado del papel filtro de la fibra insoluble.

Posteriormente se adicionó KOH (2M) ~~e se~~ incubó en baño maría con agitación continua a 20°C por 30 min. Una vez terminado el tiempo se ajustó el pH a 4.5 con ayuda de ~~agregó buffer de acetato de sodio (0.4M), ajustando el pH a 4.75 con~~ HCl (2N). ~~Posteriormente se, para~~ adicionarle 60µL de amiloglucosidasa, ~~y se incubóe incubarlo~~ durante 30 min a 60°C en agitación continua. ~~Posteriormente s~~Se centrifugo tres veces por 15 min a 3000 g, cada centrifugado se almaceno el sobrenadante y se agregó 10 mL de agua para el lavado de la pastilla. Los sobrenadantes fueron colocados en un matraz y se aforó con agua destilada a 100 mL. Las muestras al igual que la curva de calibración se cuantificaron con el KIT glucosa oxidada peroxidada.

Preparación para la curva de calibración: Se diluyo glucosa oxidada peroxidada en agua destilada con O – dianisnadina. De esa solución se tomó 0.8 ml de O – dinisnadina y se agregó a glucosa 60P. Una vez que se preparó el reactivo se montó en el micro-placa de la siguiente manera: Se tomó 50 µL del esStandardestándar de glucosa o muestra, se adiciónó 100 µL del reactivo y se incubó a 37°C por 30 min. Concluyendo con 100 µL de ácido sulfúrico 12 N. La lectura se realizó a una absorbancia de 540 nm.

Tabla 9, Valores y concentraciones para curva de calibración de almidón resistente.

Tabla 7, Valores y concentraciones para curva de calibración de almidón resistente.

Glucosa (µg)	ml glucosa (1mg/ml)	Agua (µL)	CONCENTRACIÓN (µg/ml)
0	0	1000	0
10	0.01	990	10
20	0.02	980	20
40	0.04	960	40
80	0.08	920	80
100	0.1	900	100

El porcentaje de almidón resistente se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de almidón resistente} = \frac{\text{Glucosa} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) * \text{aforo}}{1000} \times 0.9 \times \frac{100}{\text{mg muestra}}$$

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Epígrafe, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Epígrafe, Centrado, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: 10 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: No conservar con el siguiente

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Dónde:

Glucosa (mg/mL): Valor de glucosa interpolado en la curva estándar

Aforo: Volumen final del sobrenadante de la determinación

1/1000: Factor de conversión de mg a mg

0.9: Peso molecular de almidón/peso molecular de glucosa = $162/180 = 0.9$

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

3.13 DIGESTIBILIDAD *IN VIVO* DE PROTEÍNAS

4.18

— **Cuantificación de proteínas método ~~bradford~~Bradford**

3.13.1 -

Para cuantificar la cantidad de proteína antes de ~~iniciar~~iniciar el proceso de digestibilidad *in vivo*, se cuantificaron las proteínas totales solubles el método Bradford, 1976, utilizando albumina sérica bovina (ASB) como estándar. Se preparó una solución concentrada de ASB (Sigma Aldrich) con una concentración de 100 mg/ml. Ésta se diluyó en solución de rehidratación (Urea 6M, APS pH 7.4) a una concentración de 5 mg/ml a partir de esta solución se prepararon diluciones para la realización de la curva de calibración por duplicado como se muestra en la tabla 10.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: -0,25 cm, Sangría francesa: 1,25 cm, Espacio Antes: 0 pto

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm, Sangría francesa: 1,25 cm

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Título 3, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

Con formato: Título 3, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm, Espacio Antes: 12 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Con formato: Epígrafe, Centrado, Interlineado: sencillo

Tabla 10. Curva estándar del método Bradford para la cuantificación de proteínas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 8. Curva estándar del método Bradford para la cuantificación de proteínas.

Estándar	[Proteína] (mg/ml)	[BSA] mg/ml (μL)	Solución de rehidratación (μL)
1	0	0	1000
2	0.3	60	940
3	0.4	80	920
4	0.6	120	880
5	0.8	160	840
6	1	200	800
7	1.5	300	700
8	2.0	400	600
9	2.5	500	500
10	3.5	700	300
11	4	800	200
12	4.5	900	100
13	5	1000	0

Con formato: Espacio Antes: 12 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Tabla con formato

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,25 cm, Primera línea: 1 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,25 cm, Primera línea: 1 cm

Una vez hechas las disoluciones, se preparó el reactivo de trabajo diluyendo 1:5 el reactivo de Bradford en agua Mili Q. Se agregaron 10 μL de cada estándar o muestra a 1ml de reactivo de trabajo, se mezcló y se incubó 5 minutos a temperatura ambiente, protegido de la luz y se determinó la absorbancia a 595nm de los siguientes 30 min. Los experimentos se hicieron por triplicado.

Con formato: Fuente: 12 pto

La ~~formula~~ fórmula para que se ~~usó~~ usó para la ~~cuantificación~~ cuantificación de proteína fue:

$$\frac{[abs] - b}{m} = \frac{mg}{ml} \text{ eq de albumina serica bovina}$$

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: 12 pto

Dónde:

[abs]= Absorbancia de la muestra

b= valor de la intersección de la curva ~~estándar~~

m= valor de la pendiente de la curva ~~estándar~~estándar

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

~~4.18.1~~ **Digestión y absorción gastrointestinal**

~~3.13.2~~ **La metodología a seguir es una adaptación de lo sugerido por Granfeldt et al. y et al., (1993); Campos-Vega et al., (2009); Patil et al., (2010); Quevedo y Briñón, (2009); Stein et al., (2011) y Li et al., (2011).**

La metodología a seguir es una adaptación de lo sugerido por Granfeldt y et al., (1993), Campos Vega et al., (2009), Patil et al., (2010), Quevedo y Briñón (2009), Stein et al., (2011) y Li et al., (2011).

Con formato: Sangría: Sangría francesa: 1,27 cm

Con formato: Fuente: 12 pto, Resaltar

Con formato: Título 3, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm

Comentario [MG7]: formato

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, Sin Negrita, Sin Expandido / Comprimido , Resaltar

Con formato: Fuente: 12 pto, Resaltar

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,25 cm, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Sangría francesa: 1,27 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

~~4.18.23.13.3~~ **Boca in vivo**

Se reunieron 6 voluntarios sanos, los cuales debieron consumir su último alimento al menos 12 horas antes del inicio del ensayo. Se les pidió enjuagarse la boca con agua justo antes de masticar la muestra.

Los voluntarios masticaron 2.5 g de la muestra (Tortilla de ~~m~~Maíz ~~n~~Nixtamalizada, Tortilla de ~~s~~Sorgo ~~n~~Nixtamalizada, Harina ~~c~~Gruda de ~~s~~Sorgo y Tortilla de ~~s~~Sorgo ~~e~~Extrudida con 60% Hum a 10 rpm) 15 veces, durante 15 segundos, descargando el contenido en un vaso. Inmediatamente después, cada sujeto se enjuagó la boca

-por 60 segundos con otros 5 mL de agua destilada (Figura 30), siendo desechado ese líquido en una tarja. Posteriormente se mezclaron las suspensiones de cada muestra en un solo vaso. Además se preparó un blanco en el cual se utilizará

solamente agua destilada en lugar de muestra y se seguirá el procedimiento descrito anteriormente.



Figura 30. Material utilizado para depositar muestras.

4.18.33.13.4 Estómago *in vitro*

Posteriormente, 10 ml de la suspensión anterior, se les añadió una solución de HCl 2N en cantidad necesaria para bajar el pH a 2.0. La pepsina (Sigma) se disolvió en 0.94 ml de HCl 20mM y se añadió 0.055 g a cada muestra para después ser incubadas con agitación durante 2 horas a 37°C. Se realizaron tres experimentos independientes por triplicado. (Figura 31).



Figura 31. Tubos de ensayo en incubación.

4.18.43.13.5 Intestino Delgado *ex vivo*

Con formato: Fuente: (Predeterminado) +Cuerpo, 11 pto, Cursiva

Con formato: Normal, Izquierda

Con formato: Punto de tabulación: No en 2,25 cm

Con formato: Sangría: Primera línea: 0,77 cm

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Después: 0 pto

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Punto de tabulación: No en 2,25 cm

MATERIALES Y MÉTODOS

Se preparó un extracto intestinal por disolución de 3 mg de hiel de Buey más 2.6 mg de pancreatina, los cuales fueron disueltos en 5 ml de solución tampón de Krebs-Ringer [conteniendo 118 mM NaCl, 4.7 mM KCl, 1.2 mM MgSO₄, 1.2 mM KH₂PO₄, 25 mM NaHCO₃, 11 mM glucosa y 2.5 mM CaCl₂, pH 6.8 (se preparará 30 min antes de utilizarse)].

De esta solución (5 ml) se añadió a cada muestra y al blanco; la suspensión (15 ml) fue transferida a un recipiente que contenía un saco intestinal invertido, el cual se preparó siguiendo la metodología descrita por Patil *et al.*, 2010. Se utilizaron 6 ratas (por cada tratamiento) macho de la cepa Wistar (250-300 g de peso) (Figura 34), que tenían un ayuno de 16 h con agua *ad libitum*. Para el sacrificio las ratas fueron anestesiadas (pentobarbital 60mg/kg) y el intestino fue expuesto por una incisión abdominal en la línea media, posteriormente un segmento de 20-30 cm del yeyuno proximal de cada rata fue escindido y se colocó en la solución tampón de Krebs-Ringer gasificado con CO₂ a 37°C (Figura 33a). El intestino fue lavado con la misma solución tampón para retirar residuos. El intestino se volteará suavemente sobre una varilla de vidrio, y se cortará un segmento de longitud de aproximadamente 10 cm y se ligarán de un extremo (este procedimiento se realizará con el intestino sumergido en el buffer para evitar la pérdida de viabilidad del tejido como se muestra en la figura 33b). El intestino fue llenado con 2 mL de la solución tampón de Krebs-Ringer. El otro extremo del intestino se ligó para crear un saco, el cual será inmediatamente incubado en un baño conteniendo los 15ml de la suspensión anterior, a 37°C por 2 horas, en agitación continua (80 ciclos por minuto) y en atmosfera anaerobia (CO₂).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Con formato: Espacio Antes: 0 pto, Después: 0 pto

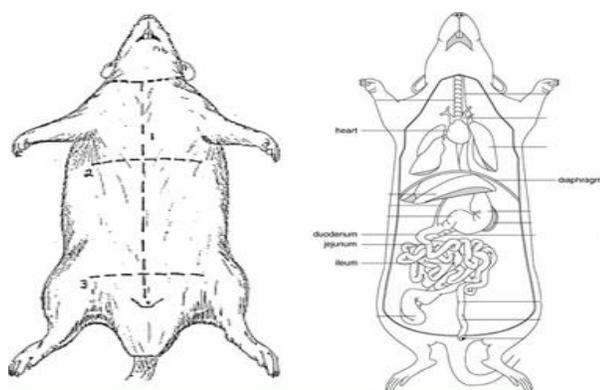


Figura 32. Incisión abdominal en la línea media para la extracción del intestino delgado.
FuenteFuente: <http://www.biologycorner.com>

Con formato: Izquierda

Con formato: Izquierda

Después del periodo de incubación, los sacos fueron retirados y la parte de las muestras contenida en el recipiente (posterior a retirar el saco intestinal), se denominó fracción no digerible (FND) se realizó un SDS-PAGE de la FND y se comparó con la muestra antes de la digestión. Se realizó tres experimentos independientes por triplicado.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm



Figura 33. a) Lado izquierdo: Peso del intestino de rata; b) Lado derecho: Intestinos delgados de rata sumergidos en suspensión tampón de Krebs-Ringer.

Para los métodos descritos anteriormente (estomago *in vivo* e intestino delgado *ex vivo*), se realizaron la cuantificación de proteínas por el Bradford a los 30, 60, 90 y 120 min, para boca solo se cuantifico la saliva y la muestra masticada.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Primera línea: 0,77 cm

~~4.18.53.13.6~~ Manejo de los animales después del sacrificio

Puesto que solo fue de interés para este estudio el intestino de los animales, los restos de las ratas no utilizados fueron destinados a desecho, se almacenaron en una bolsa grande color amarillo en un congelador (temperatura máxima 4°C), la bolsa se marcó con la leyenda “desechos biológicos”, éstas fueron almacenadas por un periodo de 15 días hasta su debido transporte e incineración (NOM-087-ECOL-SSA1-2002). El material quirúrgico utilizado se dejó remojar con cloro durante 12 h, posteriormente se lavó y esterilizó para su posterior almacenamiento.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,23 cm, Primera línea: 1,02 cm



Figura 34. Ratas macho cepa Wistar.

4.193.14 Diseño y análisis estadístico

Se usó un diseño totalmente aleatorio. Los resultados se fueron analizados, donde se realizó usando un análisis de varianza y una comparación de medias por Tukey ($\alpha= 0.05$). Los resultados se reportaron con su media más menos la desviación estándar.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,37 cm, Primera línea: 0,88 cm

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.204.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL GRANO DE SORGO

Tabla 11, Tabla 9. Caracterización física del grano de sorgo blanco.
~~Tabla 9. Caracterización física del grano de sorgo blanco.~~

Dimensiones	Largo: 4.38 ± 0.22 mm; Ancho: 3.74 ± 0.35 mm; Alto: 2.40 ± 0.21 mm
Índice de flotación	33 ± 2 granos
Peso hectolítrico	76.36 ± 0.87 kg/hL
Peso de mil granos	22.97 ± 0.90 g

Para el análisis físico de los granos de sorgo se encontró que las dimensiones de largo, ancho y grosor de esta variedad fueron 4.38, 3.37 y 2.49 mm, respectivamente; se ha reportado que los granos de sorgo son redondos comúnmente, aunque la mayoría tienen una parte aplanada, pero en variedades e híbridos se ha mostrado que los granos de sorgo tienen en promedio valores de 4, 2.5 y 2 mm (Rooney y Serna-Saldívar, 2000).

El Peso Hectolitro (PH) arrojado fue de 76.36 kg/hL., y está relacionado con el rendimiento de la harina, es así que un menor peso del grano o PH es un indicador de que existen sorgos dañados o brotados, además que indica la calidad de la misma o si es superior. Valores registrados por la norma NMX-FF-037-1994 es de 73 kg/hL, así como una investigación realizada por Montiel *et al.* (2011), donde trabajaron con las características físicas y químicas de diferentes híbridos de granos de sorgo, encontraron que el PH promedio de las variedades fueron de

Con formato: Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Interlineado: 1,5 líneas

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Interlineado: 1,5 líneas

Con formato: Diseño: Claro

Con formato: Normal

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0 cm, Sangría francesa: 1 cm

Con formato: Título 3, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

Con formato: Epígrafe, Centrado

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Con formato: Espacio Después: 0 pto, No conservar con el siguiente

Con formato: Color de fuente: Automático

Tabla con formato

Con formato: Izquierda, Espacio Después: 0 pto, Interlineado: sencillo

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

78.4 kg/hL, un poco más alto del valor obtenido sobre la variedad RB-Paloma (Tabla 11).

Con formato: Color de fuente: Negro, Diseño: Claro

Los granos de sorgo pueden cambiar de tamaño y forma debido a la diversidad genética, reportes realizados por Rooney y Serna-Saldivar (2000) para el peso de 1000 granos de sorgo registraron, valores de que variaban de 30 a 80 g dependiendo de la

Comentario [KG8]:

forma en que se le es cultivado y las condiciones climáticas del mismo. La FAO (1995) menciona, el peso de mil grano de sorgo que este peso debe ser puede ser de 25 a 30 g; lo que corresponde corresponde, el reportado en este trabajo fue de, con los valores obtenidos en este trabajo (22.97 ± 0.90 g) menor a lo registrado.

Con formato: Sin Resaltar

En lo general se puede decir que el grano utilizado está dentro de las dimensiones y características físicas de los sorgos por lo que se considera como un material adecuado para continuar con la investigación.

Con formato: Sin Resaltar

Con formato: Resaltar

4.214.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS DE SORGO Y DE LAS HARINAS OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN Y CRUDA

Con formato: Justificado

Una vez realizada la caracterización física del grano se procedió a obtener las harinas por extrusión y nixtamalización. Se procesaron tres obteniendo 3 harinas nixtamalizadas por extrusión extrudidas con las especificaciones siguientes, las cuales fueron procesadas bajo las siguientes condiciones:

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Epígrafe, Centrado, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Color de fuente: Automático

Tabla 12. Condiciones de las harinas extrudidas.

Con formato: Fuente: 10 pto

Muestra	Humedad (%)	Velocidad (rpm)	Temperatura (°C)

Con formato: Centrado, Ninguno, Sangría: Izquierda: 0 cm, Espacio Antes: 0 pto, No conservar con el siguiente, No conservar líneas juntas

Tabla con formato

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<u>HSE5010</u>	<u>50</u>	<u>10</u>	<u>100</u>
<u>HSE6010</u>	<u>60</u>	<u>10</u>	<u>100</u>
<u>HSE6020</u>	<u>60</u>	<u>20</u>	<u>100</u>

Con formato: Centrado, Espacio
Después: 0 pto

Con formato: Centrado, Espacio
Después: 0 pto

Con formato: Centrado, Espacio
Después: 0 pto

- 1.— ~~_____~~ Harina extrudida con 50% de humedad a 10 rpm de velocidad de tornillo y a 100°C.
- 2.— Harina extrudida con 60% de humedad a 10 rpm de velocidad de tornillo y a 100°C.
- 3.— Harina extrudida con 60% de humedad a 20 rpm de velocidad de tornillo y a 100°C.

Sanchez-Nuñez (2014), reportó que bajo estas condiciones de procesamiento se obtuvieron tortillas de buena calidad ~~reológica~~ reológica y sensorial.

~~_____~~ También se procedió a obtener harina nixtamalizada de sorgo por proceso tradicional. Las condiciones fueron: 20 minutos de cocción a temperatura de ebullición en exceso de agua mezclada con 2% de cal. Posteriormente se dejó reposar por 12 horas.

Los resultados de a caracterización química ~~tanto de la harina cruda de~~ sorgo sin proceso (HSC), de las harinas de sorgo obtenidas por extrusión (HES) y de la harina nixtamalizada tradicionalmente (HNST), se presentan en la tabla 13. ~~Los resultados se muestran en la tabla 12. Se realizó una repetición.~~

Con formato: Epígrafe, Izquierda,
Interlineado: sencillo

Con formato: Izquierda,
Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Fuente:
(Predeterminado) Arial, 10 pto,
Negrita

Con formato: Epígrafe, Centrado,
Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: 10 pto

Con formato: No conservar con el
siguiente

Tabla 13. Caracterización bromatológica de harinas de sorgo nixtamalizadas por extrusión y de manera tradicional.

Tabla 10. Caracterización bromatológica de harinas de sorgo nixtamalizadas por extrusión y de manera extrudidas y nixtamalizadas de sorgo tradicional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MUESTRA	Humedad %	Grasa %	Proteínas %	CHO's %	Cenizas % Grasa	Humedad %	Cenizas %	Proteínas %	CHO's %
Sorgo Crudo	<u>12.4247 ± 0.56^a</u>	<u>2.7148 ± .18^a</u>	<u>10.3925 ± 0.92^a</u>	<u>72.4641 ± 1.48^b</u>	<u>1.5514 ± 0.02^a</u>	%	%	%	%
Sorgo Nixtamalizado	<u>6.5510 ± 0.10^b</u>	<u>2.7245 ± 0.03^a</u>	<u>10.1325 ± 0.02^a</u>	<u>78.9936 ± 0.02^a</u>	<u>1.6569 ± 0.02^{b,c}</u>				
50% hum 10 rpm	<u>6.550 ± 0.12^b</u>	<u>2.0486 ± 0.02^b</u>	<u>9.6496 ± 0.47^a</u>	<u>79.9559 ± 0.50^a</u>	<u>1.7571 ± 0.02^{a,b}</u>				
60% hum 20 rpm	<u>5.7175 ± 0.17^c</u>	<u>1.8978 ± 0.01^b</u>	<u>10.6308 ± 0.35^a</u>	<u>80.0982 ± 0.37^a</u>	<u>1.8079 ± 0.08^a</u>				
60% hum 10 rpm	<u>5.5986 ± 0.19^c</u>	<u>1.9173 ± 0.03^b</u>	<u>10.6509 ± 0.03^a</u>	<u>79.9905 ± 0.05^a</u>	<u>1.7908 ± 0.10^{a,b}</u>				

Medias seguidas con la misma letra en la misma MUESTRA

Sorgo-Crudo	2.7148	12.4247	1.5514	10.3925	72.4641
	± 0.18 ^a	± 0.56 ^a	± 0.02 ^a	± 0.92 ^a	± 1.48 ^b
Sorgo-Nixtamalizado	2.7245	6.5510	1.6569	10.1325	78.9936
	± 0.03 ^a	± 0.10 ^b	± 0.02 ^{b,c}	± 0.02 ^a	± 0.02 ^a
50% hum-10-rpm	2.0486	6.550	1.7571	9.6496	79.9559
	± 0.02 ^b	± 0.12 ^b	± 0.02 ^{a,b}	± 0.47 ^a	± 0.50 ^a
60% hum-20-rpm	1.8978	5.7175	1.8079	10.6308	80.0982
	± 0.01 ^b	± 0.17 ^c	± 0.08 ^a	± 0.35 ^a	± 0.37 ^a
60% hum-10-rpm	1.9173	5.5986	1.7908	10.6509	79.9905
	± 0.03 ^b	± 0.19 ^c	± 0.10 ^{a,b}	± 0.03 ^a	± 0.05 ^a

Muestra	Humedad (%)	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	CHO'S (%)
SC	<u>12.42 ± 0.56^a</u>	<u>2.71 ± .18^a</u>	<u>10.39 ± 0.92^a</u>	<u>1.55 ± 0.02^a</u>	<u>72.46 ± 1.48^b</u>
HSE5010	<u>6.55 ± 0.10^b</u>	<u>2.72 ± 0.03^a</u>	<u>10.13 ± 0.02^a</u>	<u>1.66 ± 0.02^{b,c}</u>	<u>78.99 ± 0.02^a</u>

Tabla con formato

Tabla con formato

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

HSE5020	6.55 ± 0.12^b	2.05 ± 0.02^b	9.65 ± 0.47^a	$1.76 \pm 0.02^{a,b}$	79.96 ± 0.50^a
HSE6010	5.72 ± 0.17^c	1.90 ± 0.01^b	10.63 ± 0.35^a	1.81 ± 0.08^a	80.09 ± 0.37^a
HSNT	5.60 ± 0.19^c	1.92 ± 0.03^b	10.65 ± 0.03^a	$1.79 \pm 0.10^{a,b}$	79.99 ± 0.05^a

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). SC: Sorgo crudo; HSE5010: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 10 rpm de velocidad; HSE5020: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 20 rpm de velocidad; HSE6010: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 60% de humedad y 10 rpm de velocidad; HSNT: Harina de sorgo nixtamalizada por el proceso tradicional; CHO'S: Carbohidratos

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 en la tabla 132 ~~que en términos generales que~~ no existen diferencias entre los diversos tratamientos tanto en proteínas, cenizas carbohidratos ($p \geq 0.05$). Sin embargo en el valor de humedad si existe diferencia. Cabe ~~notar destacar~~ que la humedad que se mide depende del tratamiento de secado. Se observa ~~el grano de sorgo que la harina cruda (HCS) tiene un porcentaje mayor contenido de humedad (12.42%), en tanto que las harinas obtenidas~~ tanto por extrusión con por el proceso ~~tradicional las HES y HNS no tradicional~~ no presentan diferencias estadísticas significativa. ~~Esto es lógico porque la HCS no tuvo un proceso de secado y su humedad corresponde a la humedad del grano. Con respecto a las HES y HNS no existen diferencias.~~

~~Por último El porcentaje de lipidosgrasa si presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el grano de sorgo HCS, HSNTS y HSEES. Se observa que las HESE tiene un menor porcentaje (1.92 a 2.05%) de grasas respecto al sorgo crudo a las de las grano HCS y HSNT. Una posible explicación es que con las condiciones de extrusión, se forman complejos entre el almidón y la grasa que hacen difícil de extraer por el solvente utilizado. permiten reacciones entre las grasas de la harina cruda con la cal incorporada como por ejemplo la saponificación lo que puede disminuir el porcentaje de grasas.~~

La literatura ~~a reportado~~ que la composición química del sorgo blanco ~~Domanski et al. (1997) contiene varía de~~ 2.4-6.5% ~~de en~~ lípidos, 7.0-14.0% de proteínas,

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

70.0-90.0% de carbohidratos y de 1.2-3.5% para fibra (Domanski *et al.*, 1997, 1997). En tanto que en las; en la tortillas de maíz reportado por el (INIFAP-CERIB, (2012), se ha encontrado valores de 4.6, 75, 9.2 y 2.8% para grasas, carbohidratos, proteínas y fibra respectivamente. Para el caso de las harinas

extrudidas existe un estudio de la Universidad Nacional del Litoral (2011), donde evalúan los efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo, teniendo como resultados que en las harinas sometidas por el proceso termo-mecánico contenían 8.15% de humedad, 10.67% en proteína, 2.72% para extracto etéreo, 9.92% para fibra total ~~encluyendo cony~~ 1.53% de cenizas; lo que concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo. El análisis proximal de la tortilla de sorgo nixtamalizada por Velásquez y Bressani (2012) van de 9.71, 1.36, .078, 1.58 y 86.57 por ciento para proteínas, grasa, fibra cruda, cenizas y carbohidratos. Comparándolo con los resultados de la tabla 12 donde se muestran los valores obtenidos para la HCS, HSN y HES, se observó que existen pequeñas modificaciones en la composición química de los principales constituyentes pero la mayoría se encuentran dentro de los datos registrados.

Se puede apreciar que las ~~demás muestras tratadas~~ (harinas extrudidas y nixtamalizada de sorgo ~~en comparación con~~) ~~contra la harina control~~ (harina ~~de el~~ sorgo crudo, ~~a~~) tuvieron un aumento en sus porcentajes de macro y micro nutrientes. Esto puede atribuirse a que los productos extruidos, ~~el tratamiento~~ ~~térmico-mecánico libera algunos compuestos inmersos que el grano, s durante el~~ ~~proceso~~ ~~presentan~~ ~~unase~~ ~~tiene~~ ~~una~~ menor destrucción de ~~nutrimientos~~ ~~nutrimientos~~ ~~tos~~, además de ~~una mayor~~ ~~presentar~~ ~~larga~~ vida de anaquel debido a las altas temperaturas utilizadas, ~~y~~ mejorando su digestibilidad ~~y~~ ~~biodisponibilidad de los mismos~~ (Mans 1982; Rossem y Miller 1973).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

~~Los datos arrojados para el porcentaje de humedad fueron menores para las muestras harinas tratadas por extrusión respecto a las obtenidas por el proceso tradicional al del control, ya que unos de los objetivos que genera el extrudido como lo son la expansión, homogenización, cocción, entre otras, también lo es la reducción de humedad (González *et al.*, 2002; Apró *et al.*, 2000)~~

El porcentaje de cenizas encontrado en el grano de sorgo corresponde a lo reportado por Miller (1958). En el caso del aumento del contenido de cenizas puede deberse a la relación con el contenido de minerales, principalmente el calcio, el cual puede estar vinculado con la adición de cal (Koetz y Nuekom, 1977), tanto para en las harinas (Tabla 12) y por ende en las tortillas (Tabla 13). El porcentaje de cenizas encontrado en las harinas y tortillas nixtamalizadas por el proceso tradicional fue menor respecto a las harinas 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 Miller (1958), que va desde 1.2 a 7.1 %.

~~Los datos arrojados para el porcentaje de humedad fueron menores para las muestras tratadas por extrusión al del control, ya que unos de los objetivos que genera el extrudido como lo son la expansión, homogenización, cocción, entre otras, también lo es la reducción de humedad (González *et al.*, 2002; Apró *et al.*, 2000)~~

El contenido de proteína no mostró diferencias significativas para las harinas y tortillas de sorgo (Tablas 132 y 143), y hasta en algunas ocasiones fueron similares

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

al contenido proteico de la harina control. ~~Lo reportado por~~ Montes *et al.*; (2010), ~~reportaron valores se encuentra~~ entre 9.11 y 10.7% el cual coincide con el valor obtenido en este trabajo para harina de sorgo cruda, ~~y Miller (1958) que va de 8.7 a 16.8%~~. Continuando con un pequeño incremento en ~~c~~Carbohidratos donde según Miller (1958), ~~que~~ va de 65.3 a 79.2%. ~~Teniendo una reducción en grasa una vez que se transformaron en tortillas, en los dos casos tanto del sorgo como maíz se obtuvieron resultado dentro de lo reportado y~~ Y mencionado en un principio de los resultados.

~~En resumen se concluye que el análisis bromatológico de HCS, HES y HNS no sufren cambio excepto en las grasas debido a una posible saponificación de los aceites por efecto de la cal incorporado en extrusión. Cabe mencionar que en la nixtamalización tradicional también se incorpora cal pero el grano es entero lo cual protege parcialmente a los aceites de una reacción de saponificación. A diferencia del proceso de extrusión donde el grano es molido y los aceites están libres para reaccionar con la cal.~~

~~1.224.3~~ CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS LAS TORTILLAS OBTENIDAS DE LAS HARINAS DE DE SORGO NIXTAMALIZADAS OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN Y DE MANERA TRADICIONAL.

Una vez obtenidas las ~~harinas por extrusión HES~~ E y ~~las por nixtamalización tradicional HNS~~ NT, se procedió a ~~obtener elaborar~~ tortillas ~~de acuerdo a la metodología mencionada anteriormente en materiales y métodos. Obtenidas las tortillas se procedió a caracterizarlas bromatológicamente,~~ Los resultados ~~de la~~

Con formato: Espacio Después: 0 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

caracterización bromatológica se muestran en la tabla 14. Como control se incluyó una tortilla de maíz comercial (THNM)

En la tabla también se incorporaron los valores correspondientes a tortillas de harina de maíz nixtamalizadas (THNM) como referencia.

Tabla 14. Caracterización bromatológica de tortillas extrudidas, tortilla de sorgo y maíz nixtamalizado.

MUESTRA/Tortilla	Grasa (%)	Cenizas (%)	Proteínas (%)	CHO's (%)
Tortilla de Maíz nixtamalizado	2.81064 ± 0.18 ^a	1.55512 ± 0.02 ^a	10.3925 ± 0.92 ^a	72.4641 ± 1.48 ^b
Sorgo Nixtamalizado	2.73245 ± 0.03 ^a	1.66569 ± 0.02 ^{b,c}	10.1325 ± 0.02 ^a	78.9936 ± 0.02 ^a
50% hum 10 rpm	2.05486 ± 0.02 ^b	1.76571 ± 0.02 ^{a,b}	9.65496 ± 0.47 ^a	79.96559 ± 0.50 ^a
60% hum 20 rpm	1.908978 ± 0.01 ^b	1.81079 ± 0.08 ^a	10.6308 ± 0.35 ^a	80.0982 ± 0.37 ^a
60% hum 10 rpm	1.92173 ± 0.03 ^b	1.7908 ± 0.10 ^{a,b}	10.6509 ± 0.03 ^a	79.9905 ± 0.05 ^a

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

Muestra	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	CHO'S (%)
TSE5010	2.05 ± 0.02 ^b	9.65 ± 0.47 ^a	1.76 ± 0.02 ^{a,b}	79.96 ± 0.50 ^a
TSE5020	1.90 ± 0.01 ^b	10.63 ± 0.35 ^a	1.81 ± 0.08 ^a	80.09 ± 0.37 ^a
TSE6010	1.92 ± 0.03 ^b	10.65 ± 0.03 ^a	1.79 ± 0.10 ^{a,b}	79.99 ± 0.05 ^a
TSNT	2.73 ± 0.03 ^a	9.65 ± 0.47 ^a	1.66 ± 0.02 ^{b,c}	78.99 ± 0.02 ^a
TMNT	2.81 ± 0.18 ^a	10.65 ± 0.03 ^a	1.79 ± 0.10 ^{a,b}	79.99 ± 0.05 ^a

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable no presentan diferencias significativas (p ≤ 0.05). TSE5010: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizadas de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 10 rpm de velocidad; TSE5020: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizadas de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 20 rpm de velocidad; TSE6010: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizadas de sorgo por extrusión con 60% de humedad y 10 rpm de velocidad; TSNT: Tortillas obtenidas de las harinas de sorgo nixtamalizadas por el proceso tradicional; TMNT: Tortillas de maíz obtenidas por el proceso tradicional; CHO'S: Carbohidratos

- Con formato: Fuente: 10 pto
- Con formato: Centrado
- Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático
- Con formato: No conservar con el siguiente
- Con formato: Fuente: Sin Cursiva
- Con formato: Fuente: Sin Cursiva
- Con formato: Fuente: Sin Cursiva
- Tabla con formato

Tabla con formato

En cuanto al contenido de grasas, ~~no existe~~ existen diferencias significativas entre las tortillas de sorgo y maíz obtenidas por el proceso tradicional, en tanto que el contenido de grasas es menor en las tortillas obtenidas a partir de las harinas de sorgo extrudidas.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

De acuerdo a la tabla 143, se observa ~~que el~~ que no hay diferencias estadísticas significativas entre el contenido de cenizas en las tortillas de maíz (control) y las de sorgo extrudidas, ~~pero sino así~~ con las tortillas de sorgo obtenidas por el proceso tradicional. Estas diferencias se deben a que durante el proceso tradicional los cereales fueron expuestos a un exceso de cal (1% respecto al peso del grano), lo que indica que tanto el maíz como el sorgo tienden a absorber cantidad similares de cal, a lo que se adicionó durante el proceso de extrusión (0.25% de cal respecto al peso del grano).

En cuanto al contenido de proteínas se puede observar (Tabla 144), que ~~no existe~~ diferencias ~~significativas~~ significativas entre los valores. Sin embargo hay que recordar, que durante la nixtamalización tradicional se ~~pierde~~ pierde aproximadamente el 2% de ~~sólidos~~ sólidos, principalmente el pericarpio, en el cual contiene una cantidad importante de albuminas y globulinas (proteínas con mayor contenido de aminoácidos esenciales), en tanto que en el proceso de extrusión no existen pérdidas. Por lo anterior podría inferirse que las similitudes desde el punto de vista estadístico se deben a una concentración de sólidos. Lo mismo sucede con el ~~contenido~~ contenido de carbohidratos.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1 cm

~~sorgo tiene mayor proteína que el maíz lo cual concuerda con la literatura, así como también que el maíz tiene mayor porcentaje de grasa. Con respecto a carbohidratos se observa una ligero mayor porcentaje en el maíz que en el sorgo. Por otro lado se observan diferencias entre las tortillas de sorgo y maíz por~~

nixtamalización con respecto a las tortillas con tratamiento por extrusión. Para las tortillas por extrusión se conservan los bajos valores de porcentaje de grasa.

4.4 EVALUACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS NUTRACÉUTICAS DE LAS HARINAS Y TORTILLAS DE SORGO OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN Y EXTRUSIÓN Y POR EL PROCESO TRADICIONAL

4.23 LIEVO LA REVISION HASTA ESTA PARTE, POR FAVOR CORRIGE LO QUE TE ESTOY MARCANDO HASTA ANTES DE ESTE PUNTO

4.23.14.4.1 Cantidad de compuestos fenólicos

El tema principal del presente trabajo de tesis es determinar el efecto de la nixtamalización tradicional (cocimiento térmico alcalino) y de la extrusión en el contenido de compuestos nutraceuticos. Por ello se procedió a medir los compuestos fenólicos en tortilla. Las tablas 15 y 16 muestra los resultados correspondientes. ~~presentan~~ ~~presentan~~ los resultados obtenidos de compuestos fenólicos en las harinas y tortillas de sorgo obtenidas por extrusión y el proceso tradicional.

El sorgo, presenta compuestos tánicos polifenólicos. Estos se pueden clasificar como polifenoles solubles o hidrolizables (ácidos gálico y elágico), además poseen taninos condensados e hidrolizables (catequinas, flavonoides, etc.). Los taninos se encuentran principalmente en la testa o cubierta seminal y de acuerdo al grosor, ~~va~~ ~~riedad~~ ~~variedad~~ puede variar su contenido (Castro, 2002).

Tabla 15. Contenido de compuestos de fenólicos en harinas nixtamalizadas de sorgo obtenidas por extrusión y proceso tradicional.

Muestra	Fenoles totales (mg eq. ác. gálico/g muestra)	Flavonoides (g eq. rutina /g muestra)	Taninos (mg eq. (+)-Catequina/g muestra)
---------	---	---------------------------------------	--

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Resaltar

Comentario [MG9]:

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Resaltar

Con formato: Sin Resaltar

Con formato: Normal, Izquierda, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm

Con formato: Resaltar

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Comentario [MG10]: Revisar la numeración de las tablas, ya que es errónea

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Espacio Antes: 12 pto, No conservar con el siguiente

Con formato: Color de fuente: Automático

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SC	35.07± 0.54 ^a	325.07 ± 0.00 ^a	0.31±0.10 ^e
HSE5010	16.53± 0.26 ^d	132.42 ± 1.50 ^c	4.62 ± 0.54 ^c
HSE5020	20.85± 0.12 ^c	135.02± 0.70 ^b	11.54±0.17 ^a
HSE6010	21.83± 0.10 ^b	116.50± 0.75 ^d	5.68±0.15 ^b
HSNT	21.69± 0.35 ^{b,c}	97.79 ± 0.00 ^e	3.71 ± 0.42 ^d

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). SC: Sorgo crudo; HSE5010: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 10 rpm de velocidad; HSE5020: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 20 rpm de velocidad; HSE6010: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 60% de humedad y 10 rpm de velocidad; HSNT: Harina de sorgo nixtamalizada por el proceso tradicional; CHO'S: Carbohidratos

~~El contenido de Para los fenoles totales este varió de entre 35.69 a 11.38 mg de rutina/g muestra 8%. El, donde el valor más alto fue para el sorgo crudo con 35.69 mg de rutina/g muestra es para la harina control, en tanto que el contenido disminuye en tanto en las harinas obtenidas por el proceso tradicional como en las harinas nixtamalizadas por extrusión. cuanto a las demás muestras con sus tratamientos respectivos no se observa que el porcentaje de fenoles sea muy desfasado, pero respecto a la harina control si existe una disminución en su contenido. Remy et al., (2000) observaron que las harinas extrudidas generaron polimerización de compuestos fenólicos y por lo tanto observaron una reducción de los mismos.~~

~~Con lo reportado en la literatura algunos trabajos determinaron la cantidad de polifenoles en sorgo, expresado como porcentaje de ácido gálico (%AG) fue de 2.34 ± 0.03% a través del método Folin y utilizando para extraer los compuestos fenólicos una fase líquida compuesta por metanol agua (50:50) (Padilla et al., 2008) y de 0.41 % expresado como equivalentes de AG (Ragaei et al., 2006). Esto indica, que los resultados pueden ser muy variables dependiendo del método de extracción y determinación utilizado, además de la variedad de sorgo analizado.~~

~~En tanto que en las tortillas, las tortillas obtenidas con las harinas procesadas con por extrusión con 60% de humedad, 10 rpm de velocidad y 80°C de temperatura mostró los mayores contenidos para todos los compuestos fenólicos analizados ($P < 0.05$), mientras que las variedades de sorgo UDG 110, CIAP 6 y CIAP 9 no presentaron diferencias entre ellas para ninguno de los compuestos (tabla 3)~~

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Color de fuente: Rojo

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ngwenya (2007) comparó las pérdidas de fenoles en granos de sorgo por los procesos de fermentación y extrusión, y obtuvo que la mayor disminución fue en el último proceso, siendo la misma para granos de sorgo con bajo contenido de taninos, de un 33%.

El contenido de taninos (TA) varió de 4.2 a 11.7 mg eq (+)-catequina/g muestra para harinas y tortillas de sorgo extrudidas, si se hace la comparación del contenido de taninos por cada tratamiento se observa que no existen diferencias entre ellas. En cuanto al tratamiento de sorgo nixtamalizado es menor su contenido y pudo haberse relacionado a dicho proceso, ya que estudios realizados por Butler et al., (1984) mencionan que la molienda, la cocción y otros procesos favorecen la oportunidad para la interacción de los taninos con las proteínas de la dieta, antes del encuentro con las enzimas digestivas.

El efecto antinutricional de los taninos se debe a su capacidad de formar complejos con proteínas, menos digeribles y no a la inhibición de las enzimas digestivas (Butler et al., 1984), pero además reducen la biodisponibilidad de micronutrientes (Walter, 2004).

Tabla 12. Resultados sobre la determinación flavonoides, fenoles y taninos condensados totales de harinas y tortillas de sorgo.

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 14 pto

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de fenoles totales en las harinas analizadas varió de 35.69 a 16.53 mg eq. ác. gálico/g muestra (Tabla 15). El mayor contenido de fenoles totales lo presentó el sorgo crudo con 35.69 mg eq. ác. gálico/g muestra; el contenido de estos compuestos disminuye significativamente tanto en las harinas obtenidas por extrusión como en las obtenidas por el proceso tradicional. Remy *et al.* (2000) observaron que las harinas extrudidas se producía polimerización de compuestos fenólicos, por lo tanto observaron una reducción de los mismos.

La literatura reporta, cantidad de polifenoles en sorgo valores de 2,34 ± 0,03% de ácido gálico (Padilla *et al.*, 2008); así como 0,41 equivalentes de AG/g muestra (Ragae *et al.*, 2006). Esto indica, que los resultados pueden ser muy variables dependiendo del método de extracción y determinación utilizado, además de la variedad de sorgo analizado. Ngwenya (2007) comparó las pérdidas

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Color de fuente: Automático

MUESTRA Harina	Harinas			MUESTRA TORTILLA	Tortillas		
	FLAVONOIDE S*	FENO LES **	TANIN OS ***	-	FLAVONO IDES *	FENO LES **	TANIN OS ***
Sergo crudo	325.065 ± 0.00 ^a	35.071 ± 0.54 ^a	0.31 ± 0.10 ^e	Tortilla de Maíz Nixtamalizada	14.67 ± 0.00 ^a	16.77 ± 0.18 ^a	18.13 ± 0.04 ^e
Sergo Nixtamaliza do	97.792 ±0.00 ^e	21.69 2 ± 0.35 ^{b,c}	3.71 ± 0.42 ^d	Sorgo Nixtamalizado	48.87 ± 0.75 ^e	11.42 ± 0.03 ^e	12.33 ± 0.44 ^d
50% hum 10 rpm	132.424 ± 1.50 ^c	16.53 3 ± 0.26 ^d	4.62 ± 0.54 ^c	50% hum 10 rpm	109.91 ± 0.75 ^e	16.16 ± 0.89 ^d	4.88 ± 0.38 ^c
60% hum 20 rpm	135.022 ± 0.70 ^b	20.846 ± 0.12 ^e	11.54 ± 0.17 ^a	60% hum 20 rpm	81.77 ± 0.74 ^b	18.04 ± 0.14 ^e	6.01 ± 0.43 ^b
60% hum 10 rpm	116.507 ± 0.75 ^d	21.83 3 ± 0.10 ^b	5.68 ± 0.15 ^b	60% hum 10 rpm	122.90 ± 1.5 ^d	25.35 ± 0.37 ^b	5.20 ± 0.25 ^b

Comentario [MG11]: Revisar el formato de tablas para homogenizar. Colocar primero Fenoles totales, flavonoides y taninos

de fenoles en granos de sorgo, por un proceso de fermentación y extrusión. El autor reportó que una mayor disminución por extrusión (33%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de taninos fue 0.31 ± 0.10 mg eq (+)-catequina/g muestra para el sorgo crudo, en tanto que para las harinas extrudidas 11.54 a 4.62 y para la HSNT presentó un contenido de 3.71 ± 0.42 mg eq (+)-catequina/g muestra. Este aumento, se puede deber a que durante el procesamiento se liberan taninos que se encuentran asociados con otros compuestos, principalmente de la capa de células aleuronas, y debido a que en el proceso de extrusión no se pierden sólidos, este valor se ve incrementado de manera significativa. Butler *et al.* (1984) mencionan que la molienda, la cocción y otros procesos favorecen la oportunidad para la interacción de los taninos con las proteínas de la dieta, antes del encuentro con las enzimas digestivas.

Estos resultados son contrario a lo reportado e la literatura. Awika (2003) informó que luego de la extrusión, muestras de sorgos con alto contenido de taninos retuvieron sólo el 21% del valor inicial, medido con el método vainillina-HCl. Esta reducción fue atribuida a que la estructura de los taninos se descompone y se produce un reordenamiento químico, por lo que el procesamiento puede alterar estructuralmente a los taninos. También observaron que la extrusión disminuyó el grado de polimerización de las proantocianidinas, en comparación con el material de grano crudo, causando una disminución del 85% en taninos poliméricos, mientras que los taninos de bajo peso molecular aumentaron en un 29% (tetrámeros) y en un 478% (monómeros).

La concentración de fenoles totales para la tortilla de sorgo vario de: 16.16 ± 0.89 (TSE5010), 18.04 ± 0.14 (TSE5020), 25.35 ± 0.37 (TSE6010) y 11.42 ± 0.03 (TSNT) mg eq ácido gálico/g tortilla, en tanto que para las TMNT presentaron un contenido de 16.77 ± 0.18 mg eq ácido gálico/ g tortilla. Guerrero-Villanueva *et al.* (2011), reportaron un contenido de 16.62 ± 1.8 mg eq ácido gálico/100 g tortilla de maíz blanco, valores que corresponde a los encontrados en el presnte trabajo.

La concentración de fenoles totales en los alimentos es muy importante, ya que de acuerdo a diversos autores los compuestos fenólicos presentan actividades

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Resaltar

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Normal, Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

antioxidantes, antimutagénicas y antiogénicas (Aparicio *et al.*, 2005; Azevedo *et al.*, 2003); catalogando a los alimentos que los contienen como alimentos nutraceuticos.

Tabla 16. Contenido de compuestos fenólicos en tortillas

Muestra	Fenoles totales (mg eq. ác. gálico/g muestra)	Flavonoides (g eq. rutina/g muestra)	Taninos (mg eq. (+)-Catequina/g muestra)
TSE5010	16.16 ± 0.89 ^c	109.91 ± 0.75 ^b	4.88 ± 0.38 ^c
TSE5020	18.04 ± 0.14 ^b	81.77 ± 0.74 ^c	6.01 ± 0.43 ^b
TSE6010	25.35 ± 0.37 ^a	122.90 ± 1.5 ^a	5.20 ± 0.25 ^b
TSNT	11.42 ± 0.03 ^d	48.87 ± 0.75 ^d	12.33 ± 0.44 ^a
TMNT	16.77 ± 0.18 ^c	14.67 ± 0.00 ^e	18.13 ± 0.04 ^a

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable no presentan diferencias significativas (p ≤ 0.05). TSE5010: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 10 rpm de velocidad; TSE5020: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 20 rpm de velocidad; HSE6010: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizada de sorgo por extrusión con 60% de humedad y 10 rpm de velocidad; TSNT: Tortillas obtenidas de las harinas de sorgo nixtamalizada por el proceso tradicional; TMNT: Tortillas de maíz obtenida por el proceso tradicional; CHO'S: Carbohidratos

La concentración de flavonoides totales en las tortillas fue de 122.90 a 81.77 mg eq rutina/g tortilla obtenidas a partir del proceso de extrusión. En tanto que para las TSNT (48.87 mg eq rutina/g tortilla) y TMNT (14.67 mg eq rutina/g tortilla) el contenido fue significativaente menor. Los que indica que durante el proceso de nixtamalización tradicional se tiene pérdidas de casi un 60% del contenido de flavonoides, en tanto que la nixtamalización por extrusión reduce un 20% aproximadamente del contenido inicial del sorgo.

Finalmente, se analizó la concentración de taninos condensados en las diferentes muestras de tortillas. Los resultados se presentan la tabla 16. El analizar el contenido de taninos en sorgo es de suma importancia desde el punto de vista nutricional. Se ha reportado que los taninos presentan un efecto antinutricional debido a su capacidad de formar complejos con proteínas, lo que las hace menos digeribles, debido a que las enzimas no pueden degradar a péptidos por lo que dificulta su aprovechamiento, pero además reducen la biodisponibilidad de micronutrientes, en especial de minerales (Butler *et al.*, 1984; Walter, 2004).

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Resaltar

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Centrado

Con formato: Fuente: 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Epigrafe, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: 10 pto, Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: 10 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

La concentración de taninos condensados la TSNT (4.33±0.44 mg eq (+)-catequina/g muestra) y TSE5010 (4.88±0.38 mg eq (+)-catequina/g muestra) fue significativamente menor a las TSE5020 (6.01±0.43 mg eq (+)-catequina/g muestra) y TSE6010 (5.20 mg eq (+)-catequina/g muestra) y a la TMNT (8.13±0.04 mg eq (+)-catequina/g muestra).

Con formato: Fuente: 12 pto

Cardador-Martínez et al. (2002a) analizaron el efecto antimutagénico de los taninos condensados (PE) presentes en la cascarilla de frijol Flor de Mayo F-38, contra la aflatoxina B₁ (AFB₁), mediante un ensayo en microsuspensión con cepas de *Salmonella typhimorium* contra la mutagenicidad inducida por AFB₁. Los autores sugieren que el mecanismo de antimutagenicidad pudiera ser debido a una interacción directa y no enzimática de los compuestos fenólicos con el producto final mutagénico de esta toxina (AFB₁-8,9-epóxido), o la reducción de la biodisponibilidad de AFB₁, mediante la formación de un complejo PE- AFB₁.

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Resaltar

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias

significativas ($p \leq 0.05$). *Resultados expresados en mg de ácido gálico/g de muestra., ** Resultados expresados en mg eq de rutina/g muestra., *** Los resultados se expresan mg de (+) catequina equivalente/g de muestra.

~~Todos los granos de sorgo, en mayor o menor medida, tienen sustancia tánicas polifenólicas. Algunos sólo tienen polifenoles solubles o hidrolizables (ácidos gálico y elágico) y otros, además de éstos, poseen taninos condensados (catequinas, flavonoides, etc.). Estos últimos están ubicados en la testa o cubierta seminal y de acuerdo al grosor de esta, varía su contenido (Castro, 2002).~~

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable de proceso no presentan diferencias

Con formato: Fuente: 12 pto

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

~~significativas ($p \leq 0.05$). *Resultados expresados en mg equivalentes de rutina por gramo de muestra, [▲] mg de ácido gálico/g de muestra, ** Resultados expresados en mg eq. ác. Gálico/g muestra, *** Los resultados se expresan mg de (+)-catequina equivalente/g de muestra.~~

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

~~El contenido de taninos (TA) varió de 4.2 a 11.7 mg% en las muestras para harinas y tortillas de sorgo extrudidas, si se hace la comparación de porcentaje de taninos por cada tratamiento se observa que no existen diferencias entre ellas. En cuanto al tratamiento de sorgo nixtamalizado es menor su contenido y pudo haberse relacionado a dicho proceso, ya que estudios realizados por Butler *et al.*, (1984) mencionan que la molienda, la cocción y otros procesos favorecen la oportunidad para la interacción de los taninos con las proteínas de la dieta, antes del encuentro con las enzimas digestivas.~~

~~El efecto antinutricional de los taninos se debe a su capacidad de formar complejos con proteínas, menos digeribles y no a la inhibición de las enzimas digestivas (Butler *et al.*, 1984), pero además reducen la biodisponibilidad de micronutrientes (Walter, 2004).~~

~~Awika (2003) informó que luego de la extrusión, muestras de sorgos con alto contenido de taninos retuvieron sólo el 21% del valor inicial, medido con el método vainillina-HCl de Price *et al.*, (1978). Esta reducción fue atribuida a que la estructura de los taninos se descompone y se produce un reordenamiento químico, por lo que el procesamiento puede alterar estructuralmente a los taninos. También observaron que la extrusión disminuyó el grado de polimerización de las proantocianidinas, en comparación con el material de grano crudo, causando una disminución del 85% en taninos poliméricos, mientras que los taninos de bajo peso molecular aumentaron en un 29% (tetrameros) y en un 478% (monómeros). La disminución en el nivel de taninos no significa, que se pierden, sino que durante el procesamiento la unión a otras moléculas (es decir, proteínas, carbohidratos, minerales) dificulta su extracción (Awika *et al.*, 2003a).~~

Comentario [MG12]: No sé entiende

Con formato: Fuente: 12 pto

~~Para los fenoles totales este varió de entre 35.69 a 11.38%, donde el valor más alto es para la harina control, en cuanto a las demás muestras con sus tratamientos respectivos no se observa que el porcentaje de fenoles sea muy desfasado, pero respecto a la harina control si existe una disminución en su contenido, Remy et al., (2000) observaron que las harinas extrudidas generaron polimerización de compuestos fenólicos y por lo tanto observaron una reducción de los mismos.~~

~~Con lo reportado en la literatura algunos trabajos determinaron la cantidad de polifenoles en sorgo, expresado como porcentaje de ácido gálico (%AG) fue de $2,34 \pm 0,03\%$ a través del método Folin y utilizando para extraer los compuestos fenólicos una fase líquida compuesta por metanol agua (50:50) (Padilla et al., 2008) y de 0,41 % expresado como equivalentes de AG (Ragao et al., 2006). Esto indica, que los resultados pueden ser muy variables dependiendo del método de extracción y determinación utilizado, además de la variedad de sorgo analizado.~~

~~Ngwenya (2007) comparó las pérdidas de fenoles en granos de sorgo por los procesos de fermentación y extrusión, y obtuvo que la mayor disminución fue en el último proceso, siendo la misma para granos de sorgo con bajo contenido de taninos, de un 33%.~~

En resumen se tiene que:

- a) ~~La temperatura de cocción de la tortilla disminuye todos los casos a los compuestos fenólicos con respecto a la harina. Esto es lógico ya que los compuesto fenólicos son termolábiles.~~

- b) ~~El proceso de nixtamalización tradicional disminuye el contenido de fenoles y flavonoides tanto en harinas como en tortillas indicando que el proceso térmico alcalino tiene un efecto significativo en estos compuestos.~~

e) La extrusión también disminuye el contenido de fenoles y flavonoides pero en menor cantidad indicando que el proceso de extrusión tiene un efecto significativo pero debido a que es un proceso de alta temperatura pero corte tiempo HTST no logra disminuir las cantidades como el proceso tradicional.

d) En cuanto a taninos se observa que el contenido de los mismos aumenta con respecto al sorgo crudo independientemente del tratamiento (tradicional o extrusión). Esto indica que en el sorgo los taninos se liberan con el proceso térmico (posible desacomplejamiento con las proteínas).

1.23-24.4.2 Actividad Antioxidante (CAO) y Almidón Resistente (AR)

Una vez determinado el contenido de compuesto fenólicos y el efecto con respecto al tipo de tratamiento, se procede a medir la capacidad antioxidante de las tortillas y harinas. La tabla 17 y 185 muestra los resultados correspondientes.

Tabla 17. Capacidad antioxidante y almidón resistente de harinas y tortillas de sorgo a diferentes tratamientos por extrusión y nixtamalización tradicional.

HARINAS	ABTS—TEAC μmol-TEAC/g	AR (%)	TORTILLAS	ABTS—TEAC μmol-TEAC/g	AR (%)
Sorgo crudo	21.5101 ± 0.13 ^a	2.7277 ± 0.00 ^c	Tortilla de Maíz	15.0465 ± 0.50	3.1917 ± 0.12
Sorgo Nixtamalizado	11.6306 ± 0.14 ^d	4.3052 ± 0.16 ^b	Sorgo Nixtamalizado	9.6505 ± 0.19	4.0975 ± 0.66
50% hum-10 rpm	13.9790 ± 0.17 ^c	2.1343 ± 0.08 ^d	50% hum-10 rpm	14.0145 ± 0.23	3.4193 ± 0.27
60% hum-20 rpm	15.1156 ±	2.0598 ±	60% hum-20 rpm	14.3191 ±	3.4672 ±

Con formato: Sangría: Izquierda: 0,48 cm, Espacio Antes: 0 pto, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Espacio Después: 10 pto, No conservar con el siguiente

Con formato: Fuente: 10 pto

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	0.18 ^{-b}	0.32 ^{-d}		0.30	0.10
60% hum 10 rpm	15.0971 ± 0.21^{-b}	3.8201 ± 0.08^{-b}	60% hum 10 rpm	14.0981 ± 0.17	3.1898 ± 0.17
<u>Muestra</u>	<u>ABTS – TEAC</u>			<u>DPPH-TEAC</u>	
	<u>(µmol TEAC/g)</u>			<u>(µmol TEAC/g)</u>	
<u>SC</u>	<u>21.5101 ± 0.13^a</u>			<u>39.8100 ± 0.03^a</u>	
<u>HSE5010</u>	<u>13.9790 ± 0.17^c</u>			<u>29.2455 ± 0.13^b</u>	
<u>HSE6020</u>	<u>15.1156 ± 0.18^b</u>			<u>30.9863 ± 0.30^b</u>	
<u>HSE6010</u>	<u>15.0971 ± 0.21^b</u>			<u>29.8587 ± 0.04^b</u>	
<u>HSNT</u>	<u>11.6306 ± 0.14^d</u>			<u>25.1104 ± 0.07^d</u>	

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable no presentan diferencias significativas (p ≤ 0.05). SC: Sorgo crudo; HSE5010: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 10 rpm de velocidad; HSE5020: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 20 rpm de velocidad; HSE6010: Harina nixtamalizada de sorgo por extrusión con 60% de humedad y 10 rpm de velocidad; HSNT: Harina de sorgo nixtamalizada por el proceso tradicional; CHO'S: Carbohidratos

Tabla 18. Capacidad antioxidante de tortillas obtenidas de las harinas de sorgo a diferentes tratamientos por extrusión y nixtamalización tradicional.

<u>Muestra</u>	<u>ABTS – TEAC</u>	<u>DPPH-TEAC</u>
	<u>(µmol TEAC/g)</u>	<u>(µmol TEAC/g)</u>
<u>TSE5010</u>	<u>14.0145 ± 0.23^a</u>	<u>22.7379 ± 0.16^a</u>
<u>TSE6020</u>	<u>14.3191 ± 0.30^a</u>	<u>22.4068 ± 0.07^a</u>
<u>TSE6010</u>	<u>14.0981 ± 0.17^a</u>	<u>23.1353 ± 0.11^a</u>
<u>TSNT</u>	<u>9.6505 ± 0.19^b</u>	<u>18.6908 ± 0.11^b</u>
<u>TMNT</u>	<u>15.0465 ± 0.50^c</u>	<u>25.8166 ± 0.03^c</u>

Medias seguidas con la misma letra en la misma columna dentro de la misma variable no presentan diferencias significativas (p ≤ 0.05). TSE5010: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizadas de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 10 rpm de velocidad; TSE5020: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizadas de sorgo por extrusión con 50% de humedad y 20 rpm de velocidad; HSE6010: Tortillas obtenidas de las harinas nixtamalizadas de sorgo por extrusión con 60% de humedad y 10 rpm de velocidad; TSNT: Tortillas obtenidas de las harinas de sorgo nixtamalizadas por el proceso tradicional; TMNT: Tortillas de maíz obtenidas por el proceso tradicional; CHO'S: Carbohidratos

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

Con respecto a la capacidad antioxidante (CAO) se observa que es menor en todos los casos para tortilla que en harina, indicando que la temperatura de cocción de tortilla la afecta significativamente.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Tabla con formato

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Izquierda, Espacio Después: 10 pto, No conservar con el siguiente

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita, Sin Cursiva, Color de fuente: Automático

Con formato: Espacio Después: 10 pto, No conservar con el siguiente

Con formato: Color de fuente: Automático

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

También se observa que las muestras extrudidas tienen mayor CAO que el sorgo nixtamalizado, pero no superan los valores de la harina cruda de sorgo. Esto puede indicar que la extrusión por ser un proceso rápido no permite una cocción homogénea de las harinas.

Con respecto al almidón resistente se observa el mismo comportamiento: En tortilla se tiene un incremento con respecto a harinas indicando que la temperatura de cocción de la tortilla influye significativamente aumentando el contenido de AR.

También se observa que las harinas de sorgo nixtamalizado presenta mayor AR que las harinas por extrusión indicando que el proceso térmico alcalino a temperatura de ebullición es más severo que la extrusión para los carbohidratos generando más AR. El almidón resistente está asociado al almidón retrogrado después de ser gelatinizado, indicando que la extrusión es térmicamente menos severa con los almidones del sorgo (menor gelatinización) que el proceso tradicional.

Tabla 19.

Tabla 14. *Capacidad Antioxidante de las harinas de sorgo extrudidas, nixtamalizada y cruda por el método DPPH.*

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Fuente: 10 pto, Negrita

Con formato: Epígrafe, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Sin Cursiva

Con formato: Fuente: 10 pto

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

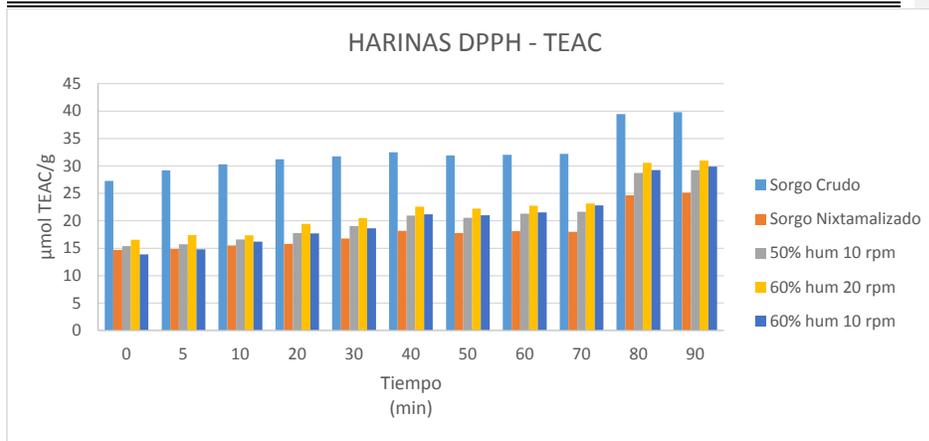
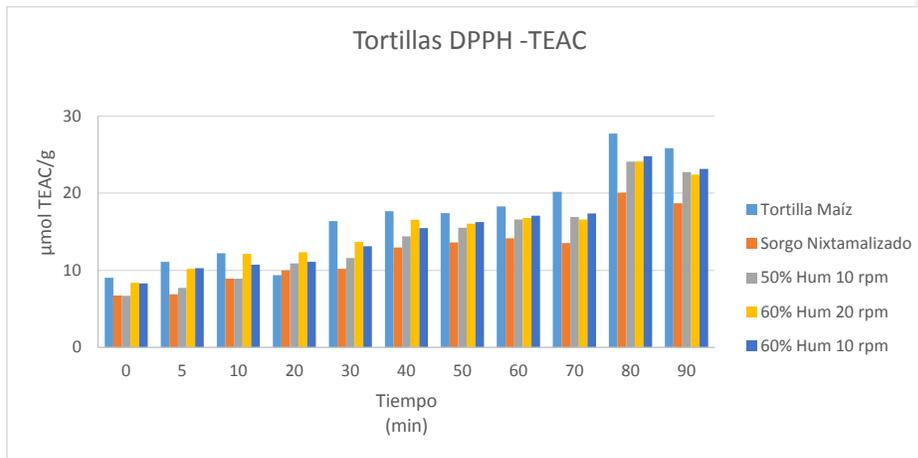


Tabla 20.

Tabla 15. Capacidad Antioxidante de las tortillas de sorgo extrudidas, nixtamalizada y cruda por el método DPPH



Con formato: Epígrafe, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: 10 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Sin Cursiva

Los valores de Capacidad Antioxidante al minuto 90 (CAO) (Tabla 173) por el método ABTS encontrados en esta investigación, expresados como TEAC fueron de 21.51 $\mu\text{mol TEAC/g}$ y por el método DPPH con 39.81 $\mu\text{mol TEAC/g}$ para la muestra de sorgo crudo (Tabla 174). Encuanto a las muestras extrudidas en harinas de sorgo al tiempo 90 para el método ABTS variaron de 13.97 hasta un 15.11 ($\mu\text{mol TEAC/g}$ muestra), y para el método de DPPH como se muestra en la tabla 174, se presentaron valores entre 29.24 a 30.98 ($\mu\text{mol TEAC/g}$ muestra). En comparación con las tortillas de sorgo extrudidas por el método ABTS y DPPH al tiempo 90 los datos arrojados son similares a los expresados por el de las harinas (Tablas 173 y 185).

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Con formato: Sin Resaltar

Con formato: Sin Resaltar

Con formato: Sin Resaltar

El método DPPH no ofrece ventajas en términos de la predicción de la capacidad antioxidante, en comparación con el ABTS, que dio los resultados más rápidos y consistentes. Esto ratifica la correcta elección del método para medir capacidad antioxidante, Awika (2003) comparó métodos de determinación de la capacidad antioxidante sobre muestras de sorgo (*Sorghum bicolor*) y sus productos, concluyendo con lo antes mencionado.

Un trabajo realizado de la Universidad del Litoral por Llopart *et al.*, (2011) con harinas extruidas de sorgo con diferentes porcentajes de humedad, observaron que este aumento de agua producía un descenso de la CAO, y la reducción de esta por extrusión fue de 1.10% como mínimo a 24.75% como máximo, estos valores se encuentran en el mismo rango informado por Awika *et al.*, (2003a) quienes trabajando con un extrusor mono-tornillo y utilizando la misma técnica para medir la actividad antioxidante, encontraron una retención de la misma en el sorgo extrudido, de 70 al 100%. En el caso de las muestras extrudidas contra la muestra control si se presenta este comportamiento, aunque para el caso de las harinas extrudidas y tortillas con 50% y 60% de humedad tuvieron un porcentaje de TEAC similar.

Ngwenya (2007), reportó con un extrusor doble-tornillo y también utilizando la misma metodología de detección, observó una reducción de 83 al 87%. Con respecto al efecto de la humedad sobre la pérdida de CAO, este autor observó la

misma tendencia que en el caso de Drago *et al.*, (2011). Mientras que en otro estudio realizado por Ragaee *et al.* (2006) sobre la CAO y composición nutricional de cereales seleccionados para uso alimentario, la CAO medida a los 3 min con la técnica del ABTS, en el caso del sorgo fue de $51,7 \pm 0,57 \mu\text{molTEAC/g}$.

Por otra parte el mismo Awika *et al* (2003b), trabajó con granos de sorgo con alto contenido de tanino extrudidos con un extrusor mono-tornillo (Maddox Metal Works, Inc., Dallas, TX, modelo MX-3001), a una velocidad de 300 rpm, diámetro de 6.125mm y con una humedad de 12% de la muestra; observando una mayor CAO luego de la extrusión en sorgo descascarado (18 TEAC mmol/g), en comparación con el grano sin extrudir (7 TEAC mmol/g). Esto se puede deber al aumento de la extractabilidad de los fenoles, como también a los productos preliminares de la reacción de Maillard que generan compuestos con actividad antioxidante.

Los extrusores mono-tornillo son adecuados para producir productos de alta expansión, generando gran fricción, y que si además el proceso implica temperatura y humedad extremas, provoca la despolimerización de los taninos condensados y su conversión a oligómeros de bajo peso molecular, facilitando la interacción con otras moléculas, como las prolaminas γ -Kafirín, lo que explicaría la reducción significativa de la actividad antioxidante en el sorgo cocido (Emmambux y Taylor 2003). Considerando esta situación, se puede inferir que la proteína desnaturalizada por la cocción, expone estructuras que promueven las interacciones proteína-taninos. En forma contradictoria, Riedl y Hagerman (2001) manifestaron que el complejo proteína-tanino mantiene su actividad antioxidante, por lo que tenían potencial para actuar como atrapadores de radicales libres en el tracto gastrointestinal. Estudios *in vitro* han demostrado que la flora microbiana colónica puede producir la degradación de los polímeros de taninos (Déprez *et al.*, 2000), por lo que incluso es posible que los complejos proteína-taninos puedan disociarse en el tracto gastrointestinal, liberando a los taninos.

Con formato: Sangría: Primera línea: 1,25 cm

Los valores expresados en harina de sorgo crudo en almidón resistente fueron de 2.7%, quedando por arriba de este valor las muestras tratadas de manera tradicional (nixtamalizadas) donde 3.1% fue para maíz y 4.4% para sorgo. Y los tratamientos de sorgos extrudidos tanto para harinas y tortillas varían de 2.1 a 3.8% como valor máximo en AR., Brown, (1996) definió cuatro categorías de AR. La primera categoría (AR1) incluye los gránulos de almidón que son molidos de los granos y legumbres. La segunda categoría (AR2) se refiere a gránulos del almidón nativo, mientras que la tercera categoría (RS3) menciona al almidón retrogradado que se forma durante el procesamiento. La cuarta categoría de AR (RS4) fue descrito recientemente e incluye almidones resistentes a la hidrólisis enzimática en algún grado químicamente modificado.

Geoff *et al.*,(2000) trabajaron con fracciones de almidón (almidón de digestión rápida, lenta y almidón resistente) de legumbres y cereales, teniendo como resultado un porcentaje de 1.6 para la harina de sorgo y 5.0% para alimentos de maíz, comparándolo con lo obtenido en este trabajo el valor para sorgo quedo por arriba y el de maíz por debajo de lo publicado por Geoff E.

Hermansen *et al.*, (1986) postularon que el almidón en alimentos como en los espaguetis se digiere más lentamente debido a que el almidón se encuentra más densamente poblado en el mismo. Durante la producción de la pasta, la cual se amasa y se somete a un proceso de cocción, dando lugar a un gránulo de almidón más atrapado y apretado (Colonna *et al.*, 1990), lo cual se podría deber por qué fue mayor los valores de AR en los productos nixtamalizados.

4.244.5 CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS POR MÉTODO BRADFORD

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de haber realizado las determinaciones químicas y nutrécetucas a las harinas y tortillas de sorgo extrudidas y nixtamalizadas, se eligieron: la HCS (como control), tortilla de sorgo extrudido (TSE) con 60% de humedad a 10 rpm

Con formato: Sangría: Primera
línea: 1 cm

(por ser el mejor tratamiento de extrusión), tortilla de sorgo nixtamalizado (TSN) y tortilla de maíz nixtamalizado (TMN), con el fin de hacer una comparación en función de saber cuál de los tratamientos presenta mayor biodisponibilidad de su proteína al ser ingerido.

El sorgo se caracteriza por su baja digestibilidad de su proteína atribuida a varios factores. Las proteínas del sorgo se clasifica en: albuminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, entre ellas, las kafirinas (prolaminas) que son las más abundantes.

Con formato: Sangría: Primera
línea: 1,25 cm

En las figuras 36 y 36 se muestran los porcentajes de proteína evaluadas por el método Bradford de las muestras HCS, TSE, TSN y TMN, realizando las cuantificaciones en estómago e intestino delgado; la cual a su vez fue dividida en fracción digerida (lo que quedó dentro del saco intestinal) y la fracción no digerida (lo que no fue absorbido y quedó fuera del saco intestinal). En la parte del estómago e intestino delgado fueron medidos a los tiempos 30, 60, 90 y 120.

Los valores iniciales en el % de proteínas para las muestras HCS, TSE, TSN y TMN son de 0.31, 1.38, 0.50 y 1.07 respectivamente; observando que hubo una disminución de proteína al pasar al estómago, donde la muestra de TSE (0.55%) obtuvo mayor biodisponibilidad de proteína, siguiéndole la muestra de HCS (0.48%) y terminando con la TMN (0.46%) y TSN (0.40%). Pero se puede observar que si existió una absorción de proteína pero fueron muy estables (Figura 35).

Para la fracción digerida (lo que es biodisponible para el cuerpo) se puede observar que en todos los tratamientos la mayor absorción de proteínas sucedió al minuto 90 (Figura 36), la muestra de TSE tuvo el mayor valor de permeabilidad (1.01%) con respecto a los demás tratamientos, seguida de la TMN 0.66%, TSN

0.50% y con menor porcentaje de biodisponibilidad de proteína la HSC (0.41%), esto quiere decir que el tratamiento térmico, es un factor que ayudó a la digestibilidad de la proteína de sorgo y por ende se tuviera mayor abosorcion del mismo. Además también se puede observar que fue mayor el porcentaje de proteína

digerida que de la fracción no digerida (lo que no es biodispoible para el organismo).

Lo que conlleva a una discrepancia con lo ya reportado en la literatura (Axtell *et al.* (1981), Eggum *et al.* (1983), Mitaru *et al.* (1985) y Oria *et al.* (1995)); ya que se menciona que las proteínas de sorgo son las únicas, donde su digestibilidad disminuye acentuadamente con el cocimiento.

Otros estudios *in vivo* comprobaron que las proteínas de sorgo son menos digeribles que el resto de otros cereales, y buscan donde y cuáles son los factores responsables de la reducción en la digestibilidad del sorgo y como se es influenciado por un tratamiento térmico.

Algunos de esos factores fueron investigados y clasificados por Duodu *et al.* (2003), donde menciona que los componentes no proteicos del grano que pasan a interferir la digestibilidad de las proteínas con el cocimiento, se debe a la estructura organizacional del grano ya que contiene polifenoles, ácido fítico, almidón y polisacáridos no amiláceos. Otro elemento es el intrecruzamiento de los puentes S-S o de otra manera la hidrofobicidad de las kafirinas y los cambios en la estructura secundaria de las proteínas.

Se cree que cada uno de estos factores por individual afecta la digestibilidad proteica del sorgo, sin embargo se acredita que más de un factor explica la interpretación de los efectos inducidos por el cocimiento. Aunque un estudio realizado por Hamaker *et al.*, (1986) demuestra por SDS-PAGE, que las Kafirinas son la fracción proteica responsables de la disminución de digestibilidad de las proteínas.

Con formato: Sangría: Primera
línea: 1,25 cm

Por lo tanto, se tendría que hacer un estudio de los tratamientos utilizados donde las proteínas aborbidadas sean clasificadas y cuanificadas y para ver si es así que el tratamiento térmico aumenta o disminuye esa disponibilidad de la proteína en el sorgo.

~~Después de haber realizado las determinaciones químicas y nutrécetúicas a las harinas y tortillas de sorgo extrudidas y nixtamalizadas, se eligieron: la HCS (como control), tortilla de sorgo extrudido (TSE) con 60% de humedad a 10 rpm (por ser el mejor tratamiento de extrusión), tortilla de sorgo nixtamalizado (TSN) y tortilla de maíz nixtamalizado (TMN), con el fin de hacer una comparación en función de saber cuál de los tratamientos presenta mayor biodisponibilidad de su proteína al ser ingerido.~~

~~El sorgo se caracteriza por su baja digestibilidad de su proteína atribuida a varios factores. Las proteínas del sorgo se clasifica en: albuminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, entre ellas, las kafirinas (prolaminas) que son las más abundantes.~~

~~En la tabla 16 se muestran los porcentajes de proteína evaluadas por el método Bradford de las muestras HCS, TSE, TSN y TMN, realizando las cuantificaciones en estómago e intestino delgado; la cual a su vez fue dividida en fracción digerida (lo que quedó dentro del saco intestinal) y la fracción no digerida (lo que no fue absorbido y quedó fuera del saco intestinal). En la parte del estómago e intestino delgado fueron medidos a los tiempos 30, 60, 90 y 120.~~

~~Los valores iniciales en el % de proteínas para las muestras HCS, TSE, TSN y TMN son de 0.31, 1.38, 0.50 y 1.07 respectivamente; observando que hubo una disminución de proteína al pasar al estómago, donde la muestra de TSE (0.55%) obtuvo mayor biodisponibilidad de proteína, siguiéndole la muestra de HCS (0.48%) y terminando con la TMN (0.46%) y TSN (0.40%). Pero se puede observar que si existió una absorción de proteína pero fueron muy estables (Figura 35).~~

~~Para la fracción digerida (lo que es biodisponible para el cuerpo) se puede observar que en todos los tratamientos la mayor absorción de proteínas sucedió al minuto 90 (Figura 36), la muestra de TSE tuvo el mayor valor de permeabilidad~~

(1.01%) con respecto a los demás tratamientos, seguida de la TMN 0.66%, TSN 0.50% y con menor porcentaje de biodisponibilidad de proteína la HSC (0.41%), esto quiere decir que el tratamiento térmico, es un factor que ayudó a la digestibilidad de la proteína de sorgo y por ende se tuvo mayor absorción del mismo. Además también se puede observar que fue mayor el porcentaje de proteína digerida que de la fracción no digerida (lo que no es biodisponible para el organismo) (Tabla 16).

Lo que conlleva a una discrepancia con lo ya reportado por los autores Axtell *et al.*, (1981), Eggum *et al.*, (1983), Mitaru *et al.*, (1985) y Oria *et al.*, (1995). Donde mencionan que las proteínas de sorgo son las únicas, donde su digestibilidad disminuye acentuadamente con el cocimiento.

Otros estudios *in vivo* comprobaron que las proteínas de sorgo son menos digeribles que el resto de otros cereales, y buscan donde y cuáles son los factores responsables de la reducción en la digestibilidad del sorgo y como se es influenciado por un tratamiento térmico.

Algunos de esos factores fueron investigados y clasificados por Duodu *et al.*, (2003), donde menciona que los componentes no proteicos del grano que pasan a interferir la digestibilidad de las proteínas con el cocimiento, se debe a la estructura organizacional del grano ya que contiene polifenoles, ácido fítico, almidón y polisacáridos no amiláceos. Otro elemento es el entrecruzamiento de los puentes S-S o de otra manera la hidrofobicidad de las kafirinas y los cambios en la estructura secundaria de las proteínas.

Se cree que cada uno de estos factores por individual afecta la digestibilidad proteica del sorgo, sin embargo se acredita que más de un factor explica la interpretación de los efectos inducidos por el cocimiento. Aunque un estudio realizado por Hamaker *et al.*, (1986) demuestra por SDS-PAGE, que las Kafirinas son la fracción proteica responsables de la disminución de digestibilidad de las proteínas.

Por lo tanto, se tendría que hacer un estudio de los tratamientos utilizados donde las proteínas absorbidas sean clasificadas y cuantificadas y para ver si es así que el tratamiento térmico aumenta o disminuye esa disponibilidad de la proteína en el sergo.

Tabla 16. Porcentaje de proteína obtenida para los tratamientos por el método Bradford.

Muestra	T.-Maíz Nixtamalizado	T.-Sergo Nixtamalizado	H.-Sergo Cruda	60% Hum 10 rpm
-	% Proteína			
Estomago				
30	0.2749	0.1549	0.2135	0.5158
60	0.3374	0.6257	0.3193	0.5415
90	0.4892	0.5411	0.1636	0.5198
120	0.4648	0.4073	0.4860	0.5517
Fracc.-No Digerida				
30	0.3235	0.5722	0.1871	0.5925
60	0.4099	0.6048	0.2140	0.5567
90	0.3790	0.5647	0.4465	0.5442
120	0.4767	0.4348	0.1824	0.5151
Fracc.-Digerida				
30	0.4594	0.7312	0.4531	0.5927
60	0.5580	0.6562	0.5296	0.3027
90	0.6655	0.4111	0.5013	1.0106
120	0.5297	0.6121	0.4694	0.6276

Con formato: Izquierda

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

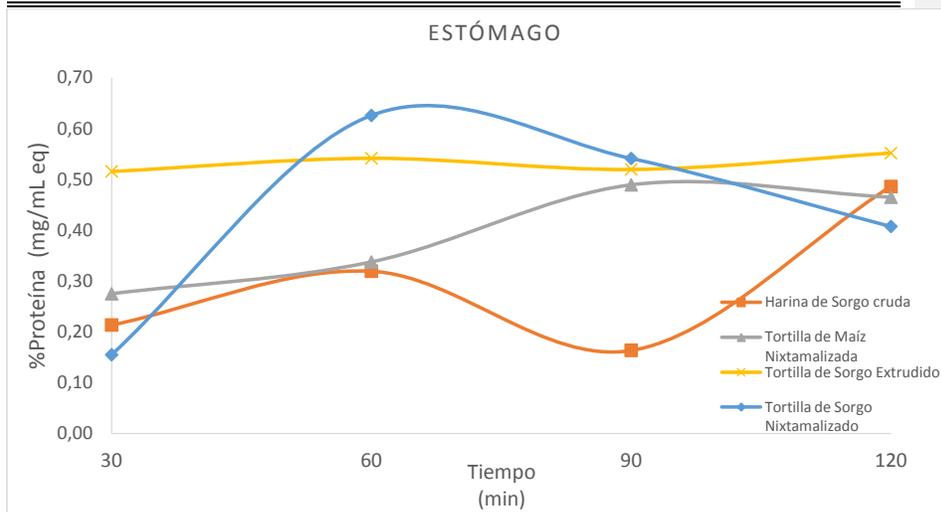


Figura 35. Proteína absorbida en estómago de las muestras.

Con formato: Izquierda

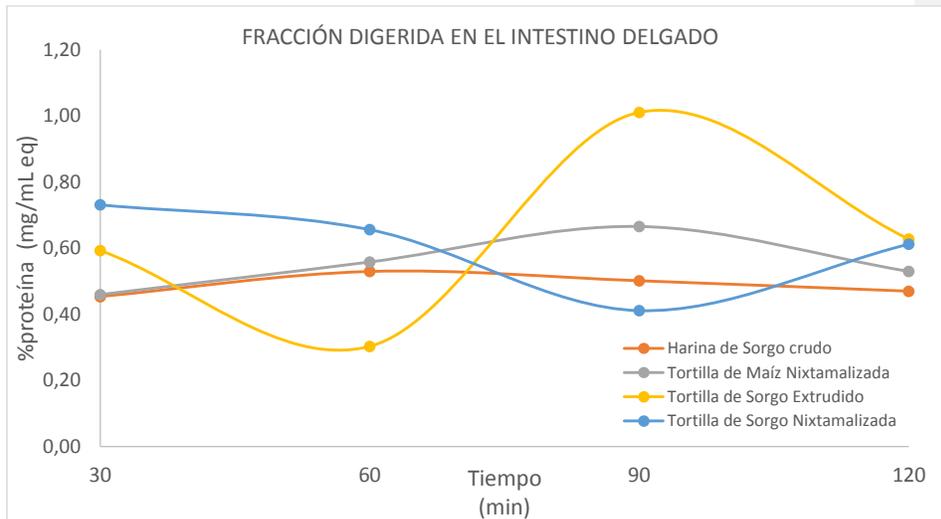


Figura 36. Proteína de la fracción digerida de las muestras en el intestino delgado.

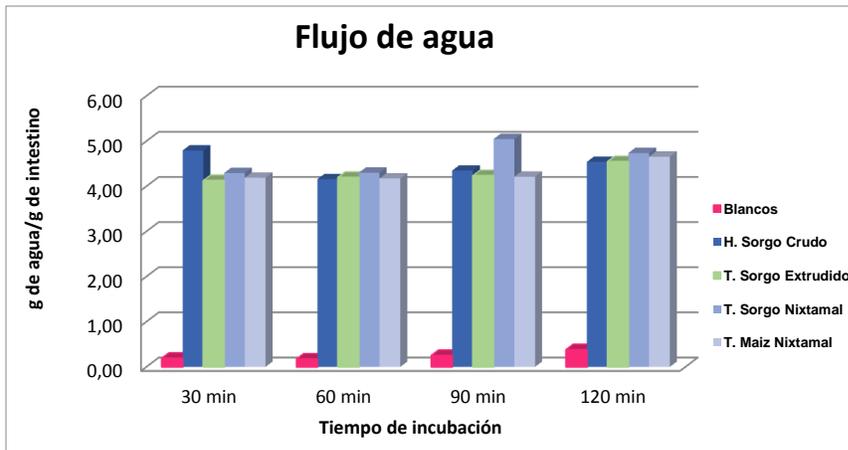


Figura 37. Proteína de la fracción digerida de las muestras en el intestino delgado

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Con formato: Fuente: Cursiva

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSIONES

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

- Se obtuvieron las harinas de sorgo mediante el proceso de extrusión, así como la elaboración de tortillas.
- En la caracterización química se observó que el sorgo tiene mayor proteína que el maíz. Y existen diferencias entre las tortillas de sorgo y maíz nixtamalizado con respecto a las tortillas extrudidas. En cuanto al análisis bromatológico de las harinas no sufren cambios excepto en grasas debido a una posible saponificación de los aceites por efecto de la cal incorporado en extrusión.
- Para la determinación nutricional se ve claramente que la temperatura de cocción de la tortilla disminuye todos los casos a los compuestos fenólicos con respecto a la harina.
- En el proceso térmico alcalino tiene un efecto significativo en estos compuestos, ya que disminuye el contenido de fenoles y flavonoides tanto en harinas como en tortillas. Esto sucede también en la extrusión pero en menor cantidad debido a la alta temperatura utilizada pero en menor tiempo, lo cual no logra esa disminución como en el proceso de nixtamalización tradicional.

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Izquierda, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 1 cm, Sangría francesa: 0,75 cm

- De acuerdo a los resultados la extrusión mejora la absorción de proteína en el estómago y en el intestino delgado, teniendo mayor disponibilidad de la misma.
- Por lo anterior las tortillas de sorgo nixtamalizadas por extrusión son una alternativa para la alimentación humana.

CAPÍTULO 6

6.1 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.

Anderson, R.A.; Conway, H.F.; Griffin, RL. 1969. Gelatinization of con grits by rollo and extrusión-cooking Cereal Sci. Today. 14(1): 4-7, 11-12.

Apró, N., Rodriguez, J., y Gornatti, C. 2000. La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. Jornadas de Desarrollo e innovación 2000.

Asp, N.G. y Björk. 1992. I., Resistant Starch, Tr. Food Sci. Tech., 3, 111-114.

Augusto Valladares C. (2010). Taxonomía y Botánica de los cultivos de grano. 27 p, Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Departamento de producción vegetal.

Awika, J.M., Rooney, L.W., Wu, X., Prior, R.L. and Cisneros-Zevallos L. 2003. Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) y Sorghum Products. *J Agric Food Chem.* 51 (23), 6657-6662.

Awika, J.M., Dykes, L., Gu, L., Rooney, L.W. and Prior, R.L. 2003a. Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products alters procyanidin oligomer y polymer distribution and content. *J Agric Food Chem.* 51, 5516-5521.

Awika, J.M., Dykes, L., Gu, L., Rooney, L.W. and Prior, R.L. (2003b). Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) y sorghum products alters procyanidin oligomer and polymer distribution and content. *J Agric Food Chem.* 51, 5516-5521.

Con formato: Título 1, Izquierda, Interlineado: sencillo

Con formato: Izquierda, Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Título 2, Sangría: Izquierda: 0,25 cm

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Awika, J.M. & Rooney, L.W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199–1221.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Axtell, J.D.; Kirleis, A.W.; Hassen, M.M.; Mason, N.d'C., Mertz, E.T. e Munck, L. 1981 .Digestibility of sorghum proteins, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 78(3): 1333-1335.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Batterman Azcona, S.J and Hamaker, B.R. 1998. “Changes occurring in protein body structure and α zein during corn flake processing”. *Cereal Chemistry*. 75:217-221.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

BAZUA, C. D., GUERRA, R., and STERNER, H. 1979. Extruded corn flour as an alternative to lime-heated corn flour for tortilla preparation. *J. Food Sci.* 44:940.

Blasco, A.J., Gonzalez-Crevillen, A., González, M.C., Escarpa, A., *Electroanalysis*, 19, 2275-2286 (2007).

Blessin, C.W., VanEtten, (C.H. & Wiebe, R.1958. Carotenoid content of the grain from yellow endosperm-type sorghums. *Cereal Chem.* 35: 359-365.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Botanical-online. *Características del sorgo (sorghum bicolor L.)* [en línea]. 2013. [Consulta: 18 marzo 2014]. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/librosdeconsulta.htm>.

Boucher. F., and Baribeau, J.1985. Isolation, purification and partial characterisation of stable forms of monomeric bacteriorhodopsin in lauryl sucrose. *Can. J. Biochem. Cell Biol.* 63:305-312.

Con formato: Español (España, internacional)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Bradford, M.M.; “A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding”. *Anal. Biochem.* 72: 248-254 (1976).

Burdette, A., Garner, P.L., Mayer, E.P., Hargrove, J.L., Hartle, D.K., Greenspan, P. 2010. Anti Inflammatory Activity of selected sorghum (*Sorghum bicolor*) brans. *Journal of Medicinal Food*. 13(4): 879-887.

Butler, L.G., Riedl, D.J., Lebryk, D.G. and Blytt, H.J. 1984. Interaction of proteins with sorghum tannin: mechanism, specificity and significance. *J Am Oil Chem Soc.* 61, 916–920.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzman-Maldonado, S. H., Paredes-Lopez, O., Loarca-Piña, G. 2009. Chemical composition and in vitro polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food science*, 74(7), T59-T65.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Camps, D. N. y González G. O. 2003. Grano de sorgo: Métodos de procesamiento y resultados en la alimentación de carne. Sitio Argentino de Producción Animal, U.B.A. 1-6.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G. and Oomah, 2002. D.Antioxidant Activity in Common Beans (*Phaseolus vulgaris*). *J.Agric.Food Chem.*2002; 50: 6975-6980.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Carrillo Hinojosa Elsy P. 2000. Caracterización del proceso de elaboración de rosquillas de sorgo y su aceptación en el mercado 2000, 32 p. Trabajo de grado (Licenciatura). Zamorano, Honduras. Disponible en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2511/1/T1170.pdf>.

Castro, A., Marrero, L.I., Valdivia, M., Gabel, M. y Steingass, H. 2002. Contenido de factores antinutricionales del grano de sorgo de cuatro variedades cultivadas en Cuba. *Rev. Cubana Sci Agr.* 36 (1), 31-35.

Chessa, A. 2007a. Calidad del sorgo como alimento animal. Córdoba Argentina, 17 (169): 65-68.

Chessa, A. 2007b. Para aumentar el uso interno y asimismo la ventaja al exterior, necesitamos cultivar la calidad de sorgo adecuada requerida para dichos mercados. Córdoba Argentina, 17.

Chiquito, A. E., Cobielles, C. G., Montes, G. N., Pecina, Q. V., Anaya, L. J. 2011. Kafirinas, Proteínas cLave para conferir digestibilidad y calidad proteica al grano de sorgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea] Marzo-Abril 2011, vol.2 (2), p. 235-248. Disponible en:

<file:///C:/Users/HP%20ENVY%20kX/Downloads/Dialnet -
KafirinasProteinasClaveParaConferirDigestibilidadY-4181643.pdf.>

Colonna, P., Barry, J. L., Cloarec, D., Bornet, F., Gouilloud, S. and Galmiche, J. P. 1990. Enzymic susceptibility of starch from pasta. *J. Cereal Sci.* 11: 59–70.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Contreras Jiménez Brenda L. 2009. Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico. 107 p. Trabajo de grado (Maestría). Instituto Politécnico Nacional. CICATA-IPN Querétaro. Disponible en: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/>.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Deatherage, W.L., McMasters, M.M. & Rist, C.E. 1955. A partial survey of amylose content in starch from domestic and foreign varieties of corn, wheat and sorghum and from some other starch-bearing plants. *Trans. Am. Assoc. Cereal Chem.* 13: 31-42.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Código de campo cambiado

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Déprez, S., Brezillon, C., Rabot, S., Philippe, C., Mila, I., Lapierre, C. and Scalbert, A. 2000. Polymeric Proanthocyanidins Are Catabolized by Human Colonic Microflora into Low-Molecular-Weight Phenolic Acids. *J Nutr.* 130, 2733-2738.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Doggett, H. 1981. The importance of food quality in sorghum improvement programs. In: *Proceedings of an International Symposium on Sorghum Grain Quality*. Rooney, L.W. D., Murty, S. and Mettin, J.V. (Eds.), pp. 143-162. ICRISTAT, Patancheru 502324. A.P., India.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Doherty, C., Faubion, J.M. y Rooney. 1982. Semiautomated determination of phytate in sorghum and sorghum products. *Cereal Chem.*

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Domanski, C., Giorda, L. M. y Feresin, O. 1977. "Composición y calidad del grano de sorgo". *Sitio Argentino de producción animal*. EEA INTA Manfredi, N°.7, p. 47-50.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Dragún P., Moreno A. M., Picasso S., Lardizabal J., Gatti N., Telechea M. J., Conti A. 2010. *Monitoreo y Estudio de cadenas de valor ONCCA*. XLI Congreso de la Asociación Argentina de Economía Agraria, p. 1-18.

Duodu, K.G.; Nunes, A.; Delgadillo, I.; Parker, M.L.; Mills, E.N.C.; Belton, P.S. e Taylor, J.R.N. 2002. Effect of grain organisational structure and cooking on sorghum and maize protein digestibility. *J. of Cereal Science*, 35, 161-174.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Duodu K. G., Taylor J.R.N., Belton P.S., Hamaker B.R. (2003). "Factors affecting sorghum protein digestibility". *Journal of Cereal Science*, vol. 38, p. 117-131.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Duodu, K. G.; Nunes, A.; Delgadillo, I. e Belton P. S. 2003. Low protein digestibility of cooked sorghum – causes and needs for further research in AFRIPRO (P.S. Belton and J.R. Taylor Eds.) Pretoria, South Africa (CD).

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Eggum, B.O.; Monowar, L.; Bach Knudsen, K.E.; Munck, L. e Axtell, J.D. 1983. Nutritional quality of sorghum foods from Suthan, *J. Cereal Sci.*, 1: 127-137.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Emmambux, N.M. and Taylor. J.R.N. 2003. Sorghum kafirin interaction with various phenolic compounds. *J Sci Food Agric*. 83, 402-407.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Englyst, H.N., y Cummings, J.H. 1987. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man, *Am. J. Clinical Nutr.*, 45, 423-431.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

FAO, 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición No. 27.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

FAO, 1997. – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. "La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas". *Depósito de documentos de la FAO* [en línea], 1997. [Consulta: 10 marzo 2014]. ISBN 92-5-303861-6. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W1808S/W1808S00.htm>

FAO. 2009. FAOSTAT. Production statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://faostat.fao.org/default.aspx>

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

FAOSTAT. 2010. <http://faostat.fao.org/faostat/> [Online]

Fast, R.B. 1991. "Manufacturing Technology of Ready-to-Eat Cereals". En: Breakfast Cereal and How They Are Made. Fast, R.B. and Caldwell, E.F. editors. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.15-42.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Feregrino-Pérez, A.A., Berumen, L.C., García-Alcocer, G. Guevara-González, R.G., Ramos-Gomez, M. Reynoso-Camacho, R., Acosta-Gallegos, J.A., Loarca-Piña, G. 2008. Composition and chemopreventive effect of polysaccharides from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on azoxymethane-induced colon cancer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 56: 8737-8744.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Ferreira, G. G., Medina, A. B., Anaya, L. L., Pérez, P. I. Extracción e identificación de prolaminas de sorgo de diferentes variedades. 2010. Universidad de Guanajuato. Departamento de Biotecnología-INIFIAP. p.1-6.

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

Financiera Rural. 2011. *Monografía del Sorgo Grano*. Dirección General Adjunta de la Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial., p. 1-9.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1995. EL SORGO Y EL MIJO: en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición. No. 27. ISBN 92-5-30-22-81-9.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Food Security Department. SORGHUM: Post-harvest Operations. 1999. Natural Resources Institute. AGSI/FAO. 1-32.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Fukumoto, L.R. and Mazza, G., 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 43(4): 890-894.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

BIBLIOGRAFÍA

Gallardo, I., Boffill, Y., Ozuna, T., Gómez., Pérez, M., Saucedo, O. 2013. Producción de bebidas usando sorgo malteado como materia prima para enfermos celíacos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 61-73.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Español (España, internacional)

Geoff, E. B., Avinash, R. P., Sean, M. M., Christine, M. G., Neal, R. M., George, C. F., 2000. Starch and Fiber Fractions in Selected Food and Feed Ingredients Affect Their Small Intestinal Digestibility and Fermentability and Their Large Bowel Fermentability In Vitro in a Canine Model. *The Journal of Nutrition*. 131: 276-286. ISSN 0022-3166/01.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Gilg y Schürhoff. 1942. Curso de Botánica General y Aplicada. 3rd. ed. Ed. Labor S.A.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Gimenez, Jorgelina. Efecto de taninos del sorgo en la nutrición de aves [en línea]. Santa Fé, Argentina, 2014 [fecha de consulta 31 Septiembre 2014]. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/efecto-taninos-sorgo-nutricion-t6040/141-p0.htm>

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Gómez; M.H; Waniska; R.D and Rooney LW. (1991). "Starch characterization of nixtamalized corn flour". *Cereal Chemistry*. 68:578- 582.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

González, R.J.; Torres, R. L.; De Greef, D.M. (2002). "Extrusión-Cocción de Cereales". *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

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

González, R.J., Torres, R.L. y De Greef. 2002. Extrusión-Cocción de Cereales. *Boletín da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tec de Alimentos (sbCTA)*, Campinas. 36 (2), 83-136.

BIBLIOGRAFÍA

González, R. M. 2002. Elaboración de jarabes de fructuosa a partir de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) Cultivados en el centro del país.

Investigación y Ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 29-34.

Granfeldt, Y., Drewa, A., Björck, I. 1993 Starch Bioavailability in Arepas Made from Ordinary High Amylose Corn: *Concentration and Gastrointestinal Fate of Resistant Starch in Rats*. *The Journal of Nutrition*, p. 1676-1684. 0022-3166/91.

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Hahn, D. H., Rooney, L. W., Earp, C. F. 1984. Tannins and phenols of sorghum. *Cereal Foods World*. 26:776-779.

Hamaker, B.R.; Kirleis, A.W.; Mertz, E.T. e Axtell, J.D. 1986 Effect of cooking on protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize, *J. Agric. Food Chem.*, 34: 647-649.

Harbers, L.H. 1975. Starch granule structural changes and amylolytic patterns in processed sorghum grain. *J. Anim. Sci.*, 41: 1496-1501.

Harper, J.M. 1981. "Extrusion Food". CRC. Press. Boca Ratón, Florida. pp: 127-163.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Harper, J.M. 1989. "Food extruders and their applications". En: Extrusion Cooking. Mecier, C; Linko, P; Harper, J.M. editors. *American Association of Cereal Chemists*, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. pp: 1-15.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Hermansen, K., Rasmussen, O., Arnfred, J., Winther, E. & Schmitz, O. 1986 Differential glycaemic effects of potato, rice, and spaghetti in type 1 (insulindependent) diabetic patients at constant insulinaemia. *Diabetologia* 29: 358-361.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Hernández, C.L., Mariscal, L. G., Becerra, J., Jiménez, S. H. Reis de Souza TC. 2009. Efecto del contenido de kafirinas sobre la digestibilidad ileal de la proteína de sorgo. *Congreso Nacional de AMVEC, A.C.*, Puerto Vallarta, Jalisco, 22-25.

BIBLIOGRAFÍA

Hibberd, C.A., Wagner, D.G., Schemm, R.L., Mitchell, F., D. Jr, Weibel, D.E. & Hintz, R.L., 1982. Digestibility characteristics of isolated starch from sorghum and corn grain. *J. Anim. Sci.*, 55: 1490- 1497.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Hubbard, J.E., Hall, H.H. & Earle, F.R. 1950. Composition of the component parts of the sorghum kernel. *Cereal Chem.* 27: 415-420.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Jackson, D. 1992. Corn Quality for Industrial Uses (en línea). University of Nebraska-Lincoln, E.U.A. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 27 (en línea). Roma, Italia. Disponible en:

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

<http://www.ianr.unl.edu/pubs/fieldcrops/g1115.htm#CORNWETMILL>.

Jambunathan, R. y Subramanian, V. 1988. Grain quality and utilization of sorghum and Pearl millet. In *Biotechnology in tropical crop improvement*. Proceedings of the International Biotechnology Workshop. Patancheru, India. 12-15 January 1987. P. 133-139. Patancheru. ICRISAT.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Jambunathan, R. 1980. Improvement of the nutritional quality of sorghum and pearl millet. *Food Nutr.: Bull.* 2: 11 – 16.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Kamath, M.V. and Belavady, B. 1980. Unavailable carbohydrates of commonly consumed Indian foods. *J. Sci. Food Agric.* 31: 194-202.

Koetz, R. and Nuekom, H. 1977. Nature of bound nicotinic acid in cereals and its release by thermal and chemical treatment. In: Physical. Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing. Hoyden, T. and Kuale, O. (Eds.). *Applied Science Publishers*, London, UK. 305 pp.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Kokini, J.L.; Chang, C.N.; Lai, L.S. 1992a. "The role of rheological properties on extrudate expansion". En: *Food Extrusion Science and Technology*. Ed Kokini, J., Ho Ch.T. Karwe. M: Marcel Dekker; NY. p: 631-65.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

LaTorre R. S. y Calderon A. C. 1998, 135 p. Evaluación fisiológica y nutricional del efecto de los taninos en los principales sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* (L)

moench) cultivados en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bucaramanga.

Li, M., Si, L., Pan, H., Rabba, A. K., Yan, F., Qiu, J., & Li, G. (2011). Excipients enhance intestinal absorption of ganciclovir by P-gp inhibition: Assessed *in vitro* by everted gut sac and *in situ* by improved intestinal perfusion. *International journal of pharmaceutics*, 403(1), 37-45.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Llopart, Emilce E. "Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos". 2011, 131 p. Trabajo de grado (Licenciatura). Universidad

Nacional Del Litoral. Facultad de Ingeniería Química. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad de Nuevo León: <<http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar>>

MacLean, W.C. Jr., López de Romaña, G., Placko, R.P. y Graham, G.G. 1981. Protein quality and digestibility of sorghum in preschool children: balance studies and plasma free amino acids. *J. Nutr.*, 111: 1928-1936.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

McNeill, J.W., Potter, G.D., Riggs, J.K. & Rooney, L.W. 1975. Chemical and physical properties of processed sorghum grain carbohydrates. *J. Anim. Sci.*, 40: 335-341.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Maiti, R. 1968. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Facultad de Agronomía, U.A.N.L., Marín, Nuevo León. México pp. 3-419.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Mans, J. 1982. The la test breed can greatly increase line speed and consistency while paring production costs for a variety of prepared food. *Prepared Food*. 11:60-63.

Martínez, B. F. 1988. Obtencao de farinhas instantaneas desorgo para "tortillas" pelo processo de extrusao. Tese deDoutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos. UNICAMP. Brasil.

BIBLIOGRAFÍA

Martínez-Herrera M.L. and Lachance P.A., 2006. Corn (Zea mays) Kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. *Journal of Food Science*, Vol. 4, Issue 2, Pág. 377-380.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Mercado G. M., Piña M. U., Morales C. J., Villarino R. M., 2003. Situación Actual y Perspectiva de la producción de sorgo en México. SIAP, SAGARPA y SICM-SECOFI. 10-52.

Mercado P. E. B., Reyes V. M. L., Morales S. E., Gaytán M. M., Contreras E. J. C., Montañez S. J.C. (2011, octubre-diciembre). "Tecnología alternativa (extrusión) para la producción de harinas de maíz nixtamalizadas". *Revista de divulgación científica* [en línea], 24. [Consulta: 18 de marzo 2014]. Disponible en: <http://www.postgradoeinvestigacion.uadec.mx>

Con formato: Español (México)

Miller, D.F.; 1958. Composition of Cereal Grain and Forages, N.A.S.-N.R.C. Publication 585, Washington D.C.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Mitaru, B.N.; Reichert, R.D. e Blair, R. (1985) Protein and amino acid digestibilities for chickens of reconstituted and boiled sorghum grains varying in tannin contents, *Poultry Sci.*, 64: 101-106.

Montel, M.D., Elizalde, J.C., Santini, F., Glorda, L. 2011 Caracterización Físicas y Químicas del Grano de Sorgo. Relación con la Degradación Ruminal en Bovinos. vol. 60 (231): 533-541.

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

Montes, G. N., García, G. M., Catillo, T. H., Pecina, Q. V., Anaya, L. J. 2010. *Sorgo [Sorghum bicolor (L.) Moench] blanco: alternativa para la alimentación humana*. México: CITY PIXEL. INIFAP. 2010. ISBN: 978-607-425-469-3.

Montes G. N., Pecina Q., Moreno G., Vargas V., Espinosa R., 2012. Sorgo Blanco: Alternativa para elaboración de tortilla. Instituto Nacional de Investigaciones

BIBLIOGRAFÍA

Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP 2012. Código: MX-0-330914-45-03-13-12-25. Clave CIRNE: INIFAP/CIRNE/A-500.

Montes-García, Noé, Williams-Alanís, Héctor, Moreno-Gallegos, Tomas, Cisneros-López, Ma. Eugenia, Pecina-Quintero, Víctor. (2012). 'RB-PALOMA', VARIEDAD DE SORGO BLANCO PARA PRODUCCIÓN DE GRANO Y FORRAJE. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 35 (2) (Abril-Junio) : [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2014] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61023300011> ISSN 0187-7380.

Naik, M.S. 1968. Lysine and tryptophan in protein fractions of sorghum. *Indian J. Genet. Plant Breed.*, 28: 142-146.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Nenadis, N., Wang, L.F., Tsimidou, M., Zhang, H.Y. 2004. Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS assay. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. Vol, 52: 4669-74.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Neucere, N. J. y Sumrell, G. 1979. Protein fractions from five varieties of grain sorghum: amino acid composition and solubility properties. *J. Agric. Food Chem.* 27 (4): 809-812.

Ngwenya, N.R. 2007. Effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] based foods. Thesis for Doctor of Philosophy. Texas A&M University.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Noah, L., Guillon, F., Bouchet, B., Buleon, A., Molis, C., Gratas, M., y Champ, M. Digestion of carbohydrate from white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in healthy humans, *J. Nutr.*, 128, 977-985, 1998.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales – parte i: maíz blanco para

BIBLIOGRAFÍA

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.)

Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.

Nunes, A.; Gil, A. e Delgadillo, I. 2003. Solid-state NMR study of un-cooked and cooked sorghum and maize flours. 2nd Portuguese-Brazilian NMR conference (Sintra), BM-P2.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Nunes, A.; Correia, I.; Barros A. e Delgadillo, I. 2004. Sequential in vitro pepsin digestion of uncooked and cooked sorghum and maize samples. *J. Agric. and Food Chem.*, 52, 2052-2058.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

▲

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Oomah, B.D., Cardador, A., Loarca, G. 2005. Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food Science*. Vol. 85: 935-942.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Ospina, J. E., 2002. Característica físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Colombia: U. Nacional de Colombia, 2001. ISBN 958-701-182-1.

Oria, M.P.; Hamaker, B.R. e Shull, J.M. (1995) Resistance of sorghum α , β and kafirins to pepsin digestion, *J. of Agric. Food Chem.*, 43:2148-2153.

Otero, G. V., Lopez, C. J. 1974, 78 p. Evaluacion del sorgo comercial como alimento para aves. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá.

Padilla, F.C., Rincón, A.M. y Bou-Rached, L. 2008. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Arch Latinoam Nutr.* 58 (3), 303-308.

BIBLIOGRAFÍA

Paredes López O. y Saharópulos M.E., 1983. [Maize a review of tortilla technology](#) Braken Digest 16-25.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Patil, P. A., Surampalli, G., K. Nanjwade, B., 2010. [Corroboration of naringin effects on the intestinal absorption and pharmacokinetic behavior of candesartan cilexetil solid dispersions using in-situ rat models.](#) *Drug development and industrial pharmacy*, (0), 1-9.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Pedersen, B. y Eggum, B. O. 1983. The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. 6. Sorghum. *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.*, 33: 313-326.

Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H., Reyes, F., Oquendo, G., Milián I. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. *Moech*). Pastos y Forrajes V. 33 n.1 Matanzas. Ene-Mar 2010. Facultad de Agronomía-Universidad Central de las Villas. Villa Clara, Cuba.

Pérez Jiménez Jara. Metodología para la evaluación de ingredientes funcionales antioxidantes. 244 p. Trabajo de grado (Doctorado). Universidad Autónoma de Madrid. Instituto del Frío (CSIC) Departamento de Metabolismo y Nutrición.

[Petersen, V.E. 1969. *Poult. Sci.*, 48, 2006-2013.](#)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Porter Kay. El Color del sorgo granífero y su relación con el valor de comercialización y con su calor nutritivo. [Pioneer Hi-Bread International, Inc.](#)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

[Price, P.B. y Parson, J. G. 1975. Lipids of seven cereal grains. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 52: 490-493.](#)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Price, M.L. y Butler, L.G. 1978. Treatments of sorghum grain that reduce the assayable tannin content and their effect on the nutritional value of the grain. *In* J.H. Hulse, ed. *Polyphenols in cereals and legumes*, p. 39-42. Ottawa. International Development Research Centre.

Quevedo, M. A., & Briñón, M. C. (2009). In vitro and in vivo pharmacokinetic characterization of two novel prodrugs of zidovudine. *Antiviral research*, 83(2), 103-111.

BIBLIOGRAFÍA

Ragae, S., Abdel-Aal, E.M., Noaman, M. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chem.* 98 (1), 32-38.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Remy, S., Fulcrand, H., Labarbe, B., Cheynier, V. y Moutounet, M. 2000. First confirmation in red wine of products resulting from direct anthocyanin-tannin reactions. *J Sci Food Agric.* 80, 745-751.

Riedl, K.M. and Hagerman, A.E. 2001. Tannin-protein complexes as radical scavengers y radical sinks. *J Agric Food Chem.* 49, 4917-4923.

Ring, S.H., Akingbala, J.O. & Rooney, L.W. 1982. Variation in amylose content among sorghums. In L.W. Rooney & D.S. Murty, eds. Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality Hyderabad, Inde, 28-3 1 octubre 1981, p. 269-279. Patancheru, Inde, ICRISAT

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Rodríguez, A. 2009. Contenido nutricional de harinas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) RCV y De Leche, harina de trigo (*Triticum aestivum*) y su uso en la elaboración de un muffin. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 28 p.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Rooney, L.W. y Clark, L.E. 1968. The chemistry and processing of Sorghum grain. *Cereal Science Today.* 13 (7): 258-286.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Rooney, L.W. 1978. Sorghum and Pearl millet lipids. *Cereal Chem.*, 55: 584-590.

Ronney, L.W., Khan, M.N. y Earp, C.F. 1980. The technology of Sorghum products chapter in recent progressin cereal chemistry: *Cereals for Food and Beverages.* Inglett, G. (ed). Acadmin Press Inc. New York, In Press 513-554.

Rooney, L. W. and Serna-Saldivar, S. O. 2000. Sorghum. In: Kulp, K. and Ponte, J. G. Jr. (Eds.) *Handbook of cereal science and technology.* 2nd (Ed.). New York: Marcel D. 149-176 pp

Rossem, J.L.; Miller, R.C. 1973. Food extrusion. *Food Technology* 27(8):46-53.

Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. 1993. Resistant starch in foods. Modified method for dietary fiber residues, *J. Food Sci.*, 58, 642-643.

Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic.* 1965; 16: 144-158.

Shiga, M., Lajolo, M., Filisetti, M., 2003. Cell Wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) *Cienc. Tenol. Aliment. Caminas*, 2003; 23:141-148.

Shoup, F.K. and Deyoe, C.W. and Sanford, P.E. and Murphy, L.S. 1970 *Nutritive value of six commercial sorghum grain hybrids.* *Poultry Science*, 49 (1). pp. 168-172. (Unpublished)

Shoup, F.K. and Deyoe, C.W. and Skoch, L. and et al, . 1970 *Amino Acid Composition and Nutritional Value of Milled Fractions of Sorghum Grain.* *Cereal Chemistry*, 47 (3). pp. 266-272.

Slavin, J. Whole grains and human health. *Nutrition Res Rev.* 2004;17:99-110.

Stein, A. C., Haas, J. S., Stolz, E. D., Betti, A. H., Schripsema, J., Poser, G. L., & Rates, S. M. (2011). The anti-immobility effect of hyperoside on the forced swimming test in rats is mediated by the D2-like receptors activation. *Planta Med*, 77(4), 334.

Swain, T., and Goldstein, J.L. 1965. The inhibition of enzymes by tannins. *Phytochem* 4:185-192.

Taylor, J., Schober, T. J., & Bean, S. R. (2006). Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44(3), 252-271.

Torres Cepeda Teresa E. Estudios comparativos de las características anatómicas, morfológicas y algunos aspectos bioquímicos y nutricionales de variedades de granos de sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), utilizado para

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Código de campo cambiado

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Código de campo cambiado

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Interlineado: Múltiple 1,08 lín.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

BIBLIOGRAFÍA

alimentación de ganado bovino de engorda en el noreste del país. 1990, 273 p. Trabajo de grado (Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Disponible en: http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020091627/1020091627_MA.PDF

Tovar, J., Björck, I.M., y Asp, N.G., Incomplete digestion of legume starches in rats: a study of precooked flours containing retrograded and physically inaccessible starch fractions, *J. Nutr.*, 122, 1500-1507, 1992a.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

United States National Research Council/National Academy of Sciences. 1982. United States Canadian tables of food composition. Washington, DC, National Academy Press. 3e rev. van Heerden, I.V. 1989. The nutritive content of African beers brewed with maize grits or sorghum adjuncts. *J. Inst. Brew.*, 95: 17-20. van Heerden, I.V. & Glennie, C.W. 1987. Availability of B vitamins in sorghum beer. *Nutr Rep. Int.* 35: 147- 155. van Heerden, I.V., Taylor, J.R.N. & Glennie, C.W. 1987. The contribution of minerals, trace elements, phytin starch and amino acids to the nutritional quality of sorghum beer. *S. Afr. J. Sci.*, 83: 5-7.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

U.S GRAIN COUNCIL. 2002. Testing Methodology and Interpretation of Results for Corn (en línea). E.U.A. Disponible en: w.vegrains.org/documents/2002veg_report/testing/ctfooduse.html

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Vallati, A. (2008) en Hoja Técnica: Cultivo de Sorgo, INTA, Argentina.

Vasudeva, G., Arun C., Rajini, P.S. (2004). Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) flour extracts. *Journal Cereal Science.* 40: 283-288.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Velásquez, H., Bressani, R. 2012 Desarrollo de un método de nixtamalización de sorgo blanco (*Sorghum Bicolor (L) Moench*) y elaboración de tortilla. *Revista Industrial y Alimentos* [en línea] 2012, 44-45 (Octubre-Diciembre): [Fecha de consulta: 02 de Octubre de 2014] Disponible en: http://issuu.com/revistaindustrialyalimentos/docs/indyal_57/47.

BIBLIOGRAFÍA

▲ Waniska, R.D., and Rooney, L.W. 2000. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. In: Sorghum: Production, Agronomy, Chemistry and Utilization. (Smith, W and Frederiksen, R.A., eds.). Wiley & Sons, New York. Pp 649-699.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

▲ Walter, T., Pizarro, F., Abrams, S. and Boy, E. 2004. Bioavailability of elemental iron powder in white wheat bread. *Eur J Clin Nutr.* 58 (3), 555-5558.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

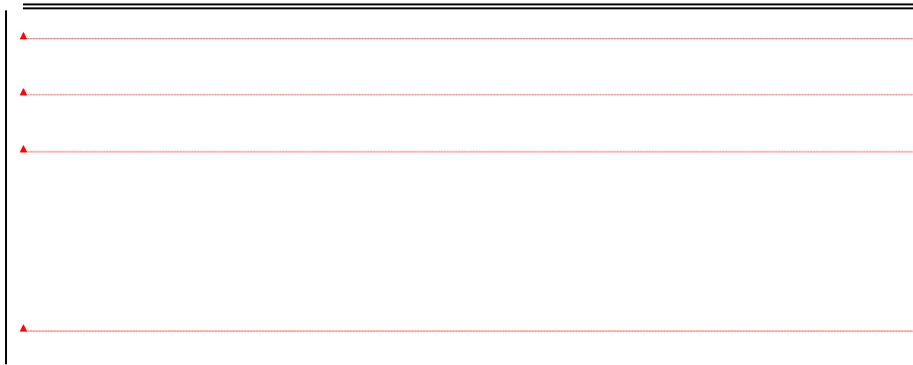
▲ Wet, J.M.J. 1966. The origin of weediness in Plants. Proceedings of the Academy of Sciences Forum. Oklahoma. USA. 14-17.

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

▲ White T (1957) Tannins-their occurrence and significance. *J Sci Food Agric* 8: 377-385.

Con formato: Fuente: 12 pto, Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)



Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Izquierda: 2,5 cm, Derecha: 2,5 cm, Arriba: 2,5 cm, Abajo: 2,5 cm, Encuadernación: 1 cm

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)



Con formato: Color de fuente: Automático, Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)