



**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
POSGRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE
LOS ALIMENTOS**

**Desarrollo de un producto tipo totopo a base de harina de maíz a partir de la
sustitución parcial de harinas de nopal y soya**

**Grado: Maestro en Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Pecuarias y de los
Alimentos**

Presenta:

IAI Karla Yuritzzi Amador Rodríguez

Integrantes Del Comité Tutorial:

Turora: Dra. Laura Eugenia Pérez Cabrera

Dr. Jesús Alberto Quezada Gallo

M En C Fernando Bon Rosas

Asesor: Dr. Juan De Dios Figueroa Cárdenas

Jesús María, Ags., diciembre 2008.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto que se gestó durante dos años y medio, se realizó debido al apoyo y participación de muchas personas, que tuvieron aportaciones invaluableles en él.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes la cual ha sido parte medular en mi formación desde el bachillerato, agradezco al Sr. Rector Rafael Urzúa Macías el apoyo y la confianza brindada; al Centro de Ciencias Agropecuarias donde realice el posgrado y al Sr. Decano José de Jesús Gutiérrez González por apoyarme en el intercambio académico que realice; al Depto. De Intercambio Académico y Becas y al Centro de Investigación y Estudios Avanzados CINVESTAV del IPN Unidad Querétaro, por recibirme y dejarme trabajar apoyada con su personal durante el valioso y enriquecedor intercambio académico.

A mi tutora Laura, por adentrarse y apoyarme como lo hizo durante este proyecto y por la amistad incondicional que me ha brindado, a mi comité tutorial: Dr. Jesús Alberto, M. en C. Fernando y Dr. Juan de Dios por los conocimientos y la formación que me brindaron.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología CONCYTEA por la beca otorgada, a Santander – ECOES por el apoyo durante mi intercambio académico y a las empresas Minsa S.A. de C.V., Antojaditas y Naturama por proveer material y equipo.

Al igual que todas las personas que me apoyaron con un gran accesibilidad: Rosy Carrillo, Lily Barba, Juan Veles, Marcela Gaytán, Edmundo Gutiérrez, Liliana De Veles. A mis *roommis* durante mi intercambio académico Bety, Marcelo y Angélica con los que compartí momentos muy preciados y me sentí como en familia.

DEDICATORIAS

Agradezco profundamente a mi familia: Pita y Arturo por su incondicional apoyo durante toda mi vida y por haberme formado como lo hicieron, a mis hermanas Mariana y Estefania por acompañarme siempre en todo mi desarrollo como persona.

Para todos ellos con mucho cariño ...



CARTA DE LIBERACIÓN





UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES

DR. ERNESTINA LEÓN GONZÁLEZ
SECRETARÍA GENERAL DE U.A.A.
PRESENTE.

M en C José de Jesús Gutiérrez González
Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

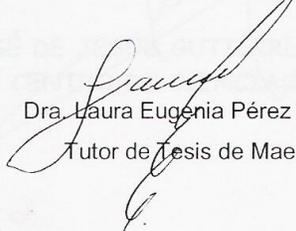
Presente,

Por medio de la presente me permito informarle a Usted que después de haber revisado el trabajo de tesis titulado **"Desarrollo de un producto tipo totopo a base de harina de maíz a partir de la sustitución parcial de harinas de nopal y soya"** presentado por **Karla Yuritzi Amador Rodríguez**, considero que cumple satisfactoriamente por lo que otorgo mi **voto aprobatorio** para continuar los tramites de titulación para la defensa del trabajo y en su caso la obtención del grado de Maestra en Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos,.

ATENTAMENTE,

Jesús Maria, Aguascalientes a 02 de Diciembre del 2008

"Se Lummen Proferre"


Dra. Laura Eugenia Pérez Cabrera
Tutor de Tesis de Maestría

c.c.p. Dr. Arturo Valdivia Flores
Secretaria de Investigación del Centro de Ciencias Agropecuarias
c.c.p. Karla Yuritzi Amador Rodríguez
Interesada



M en C José de Jesús Gutiérrez González
 Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

Presente,

Por medio de la presente me permito informarle a Usted que después de haber revisado el trabajo de tesis titulado **“Desarrollo de un producto tipo totopo a base de harina de maíz a partir de la sustitución parcial de harinas de nopal y soya”** presentado por **Karla Yuritzi Amador Rodríguez**, considero que cumple satisfactoriamente por lo que otorgo mi **voto aprobatorio** para continuar los tramites de titulación para la defensa del trabajo y en su caso la obtención del grado de Maestra en Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos,.

ATENTAMENTE,

Distrito Federal a 11 de diciembre del 2008

Dr. Jesús Alberto Quezada Gallo

Integrante del Comité Tutoral de Tesis de Maestría

- c.c.p. Dr. Arturo Valdivia Flores
 Secretaria de Investigación del Centro de Ciencias Agropecuarias
- c.c.p. Karla Yuritzi Amador Rodríguez
 Interesada

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA A.C.
 Prol. Paseo de la Reforma 880 Lomas de Santa Fe. México D.F.
 C.P. 01219. Del. Álvaro Obregón 9177-4400 y 5950-4000

www.uia.mx



**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N.
UNIDAD QUERÉTARO**

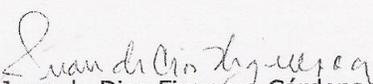
Querétaro, Qro., 10 de diciembre de 2008

**DRA. LAURA EUGENIA PEREZ CABRERA
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE AGUASCALIENTES
Programa Educativo de Posgrado en Ciencia y Tecnologías
Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos.
Presente.**

Estimada Doctora:

Me es grato informar que después de revisar la versión corregida del documento de tesis titulado "**Desarrollo de un producto tipo totopo a base de harina de maíz a partir de la sustitución parcial de harinas de nopal y soya que IAI Karla Yuritz Amador Rodríguez** presenta como requisito para obtener el grado: Maestro en Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos, dentro del Programa Educativo de Posgrado en Ciencia y Tecnologías Agrícolas, Agropecuarias y de los Alimentos (PCTAPA) me complace otorgar el voto aprobatorio Sin otro particular le envío un cordial saludo.

Atentamente,


Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas
jfigueroa@qro.cinvestav.mx

c.c.p. Archivo.

LIBRAMIENTO NORPONIENTE No. 2000
FRACC. REAL DE JURQUILLA C.P. 76230 QUERÉTARO, QRO. MÉXICO
DIRECCIÓN POSTAL. APARTADO POSTAL 1-798. ARTEAGA NUM 5, CENTRO CP 76001
TELÉFONO: +52 (442) 211-99-15 y 00 FAX: +52 (442) 211-99 38 y 39

RESUMEN

Los productos nixtamalizados han enriquecido y diversificado la alimentación en la dieta de millones de personas. Una forma de su consumo es en forma de botanas o frituras de maíz que denominamos totopos de maíz nixtamalizado. Los cambios en la forma de vida, diversos factores, han originado una creciente demanda y diversificación de estos productos.

El desarrollo de un producto tipo totopo a base de harina de maíz a partir de la sustitución parcial de harinas de nopal y soya emerge de la necesidad y demanda del sector de botanas con un producto de mejor calidad nutrimental, basándose en tres factores importantes: el incremento de proteína, el incremento de fibra y la reducción de aceite.

Se usaron tres harinas para el desarrollo del totopo de harina de maíz nixtamalizado, harina de nopal y harina de soya desgrasadas. El análisis de las materias primas que consistieron en análisis químico, granulometrías de harina, capacidad de absorción y solubilidad en agua, viscosidad y gelatinización de almidón. Las masas características de maíz nixtamalizado pueden ser alteradas y modificadas por otros ingredientes, para saber el comportamiento de la masa a la incorporación de soya y nopal se evaluaron propiedades reológicas y tecnológicas. De 16 formulaciones desarrolladas solo 7 pudieron completar el procesamiento industrial de totopos, ya que no todas las masas son aptas para ser procesadas por la tortilladora, debido a los cambios en las masas. El desarrollo del producto consistió en rehidratado y amasado, formando y cortado de las piezas, inmediatamente se precocido y enfrió el producto. Dos vertientes en el deshidratado de totopo se realizaron: la tradicional por medio del deshidratado solar usado actualmente y un proceso alternativo mediante la inclusión de radiación de ondas infrarrojo, el producto ya deshidratado se frió para comparar las diferencias de estos dos procesos. La variación de la humedad a lo largo de las etapas influyó notoriamente en la absorción de aceite del producto final. De igual forma la variación en la sustitución de los dos ingredientes adicionales: nopal y soya influyeron en la humedad y absorción de aceite, en donde la soya incremento los valores durante el freído. La textura de igual forma fue variable por la presencia de las harina de soya y nopal. Los incrementos observados en el contenido de proteína y soya fueron de entre 25 y 30 %, además de que la reducción de aceite se redujo en un 50 % comparado a los totopos elaborados a partir del deshidratado solar.

Palabras clave: totopos, fibra, proteína, almidón, grasa, deshidratado infrarrojo

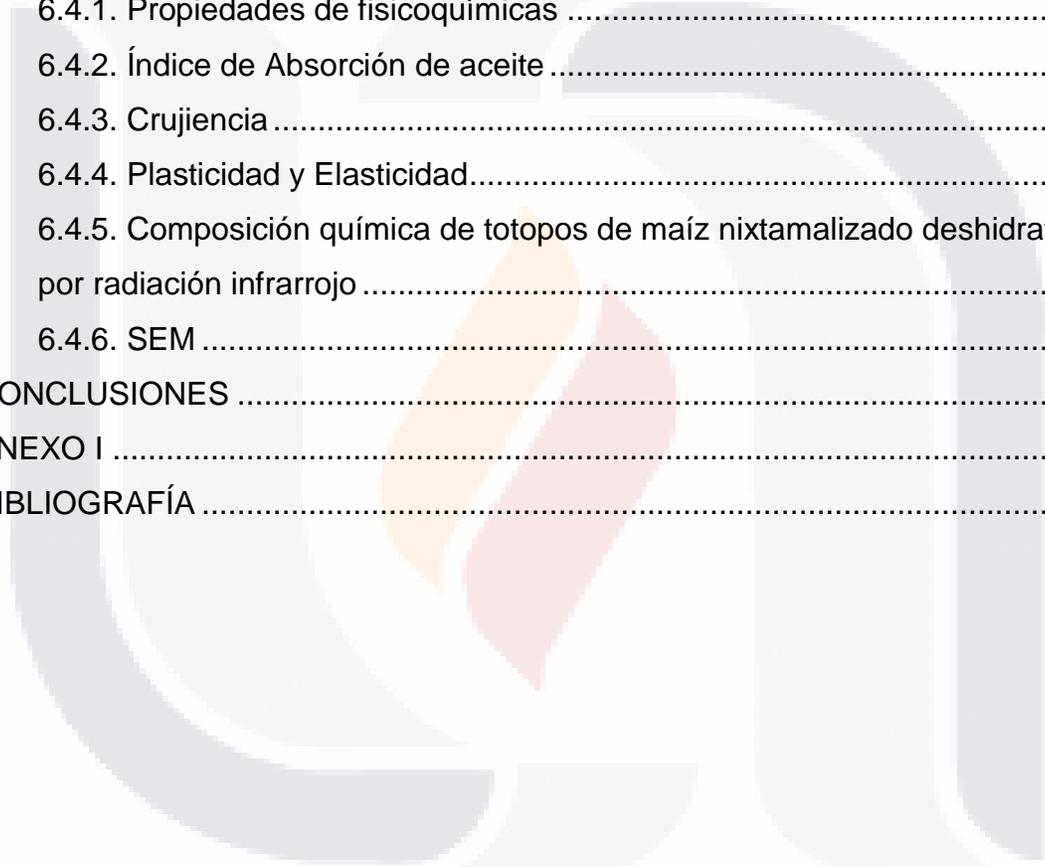
ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	18
1. ANTECEDENTES	20
1.1. ASPECTOS GENERALES DEL MAÍZ.....	20
1.1.1. Aspectos botánicos	21
1.1.2. Composición anatómica del maíz	22
1.1.3. Composición química del maíz	25
1.1.3.1. Carbohidratos.....	25
1.1.3.2. Proteínas.....	29
1.1.3.3. Lípidos.....	31
1.1.3.4. Vitaminas y minerales	32
1.2. NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ.....	33
1.2.1. Antecedentes	33
1.2.2. Proceso de nixtamalización	34
1.2.2.1. Cocimiento.....	34
1.2.2.2. Lavado.....	36
1.2.2.3. Molienda.....	37
1.2.3. Ventajas de la nixtamalización	39
1.3. HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.....	39
1.3.1. Antecedentes	39
1.3.2. Proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado	40
2.3.3. Ventajas del uso de harina de maíz nixtamalizado	40
1.3.4. Nuevas tendencias en el proceso de nixtamalización	42
1.4. CONSUMO.....	42
2.1. BOTANAS	46
2.1.1. Antecedentes	46
2.1.2. Definición y clasificación	48
2.2. BOTANAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO	50

2.2.1. Antecedentes	50
2.2.2. Definición	50
2.2.3.1 Rehidratado de harinas y amasado.....	51
2.2.3.2. Precocido.	51
2.2.3.3. Deshidratado	52
2.2.3.4. Freído.	53
2.2.4. Atributos de calidad de productos fritos	57
2.3. TENDENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE BOTANAS	58
2.3.1. Ingredientes incorporados en la elaboración de productos de maíz nixtamalizado	60
2.3.1.1. Harina de Nopal (<i>Oputia ssp</i>).	61
2.3.1.2. Harina de soya desgrasada (<i>Glycine max</i>).....	64
2.3.2. Nuevos tratamientos incorporados en la elaboración de productos de maíz nixtamalizado	66
3. HIPOTESIS	69
4. OBJETIVOS	70
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	70
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	70
5. MATERIALES Y METODOS	72
5.1. MATERIAS PRIMAS.....	72
5.1.1. Harina de maíz nixtamalizado.....	72
5.1.2. Harinas no convencionales	72
5.1.3. Otros ingredientes.....	73
5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	73
5.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN	76
5.3.1. Mezclado y rehidratado.....	77
5.3.2. Moldeado, cortado y precocido	78
5.3.3. Deshidratado por Radiación Infrarroja	78
5.3.4. Freído.....	80
5.4. ANÁLISIS QUIMICOS	80
5.4.1. Extracto Etéreo	80

5.4.2. Proteína	80
5.4.3. Fibra.....	81
5.4.4. Cenizas	81
5.4.5. Humedad	81
5.4.6. Determinación de carbohidratos	81
5.5. ANÁLISIS FISICOQUIMICOS	81
5.5.1. Distribución del Tamaño de Partícula de harinas.....	82
5.5.2. Capacidad de absorción de agua (CAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) de harinas	82
5.5.3. Actividad de agua.....	82
5.5.4. Propiedades térmicas	83
5.5.5. Propiedades de gelatinización	83
5.5.6. Determinación del color	83
5.6. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS	84
5.6.1. Tenacidad (P), Trabajo (W) y Consistencia (PrMax) en masas	84
5.6.2. Medición subjetiva de facilidad de maquinado en masas	86
5.7. PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y DE TEXTURA.....	88
5.7.1. Absorción de aceite.....	88
5.7.2. Crujencia	89
5.7.3. Plasticidad y elasticidad	91
5.7.4. SEM (Microscopia Electrónica de Barrido).....	93
5.9. ANALISIS ESTADISTICO.....	93
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	94
6.1. CARACTERIZACION DE HARINAS.....	94
6.1.1. Composición Química	94
6.1.2. Propiedades físicas.....	96
6.1.3. Capacidad de Absorción y Solubilidad en Agua	98
6.2. CARACTERIZACIÓN DE MASAS.....	104
6.2.1. Propiedades fisicoquímicas	104
6.2.1. Propiedades reológicas.....	108
6.2.3. Propiedades tecnológicas	115

6.2.3.1. Selección de masas viables para procesamiento industrial.	122
6.2.4. Propiedades térmicas	122
6.2.5. Propiedades de viscosidad	126
6.3. CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTO PRECOCIDO Y DESHIDRATADO	130
6.3.1. Propiedades fisicoquímicas	131
6.4. CARACTERIZACIÓN DE TOTOPOS	134
6.4.1. Propiedades de fisicoquímicas	134
6.4.2. Índice de Absorción de aceite	139
6.4.3. Crujiencia	141
6.4.4. Plasticidad y Elasticidad.....	145
6.4.5. Composición química de totopos de maíz nixtamalizado deshidratados por radiación infrarrojo	149
6.4.6. SEM	150
CONCLUSIONES	154
ANEXO I	159
BIBLIOGRAFÍA	166



ÍNDICE FIGURAS

Figura No. 1: a)Tributo a la divinidad del maíz; b) Dios del maíz también conocido como Ah Mun..... 21

Figura No. 2. Descripción botánica de la semilla del maíz..... 23

Figura No 3. a) Cocimiento artesanal de maíz, b) Paila de acero inoxidable para cocimiento de maíz. 35

Figura No. 4. a) Lavado de maíz manual; b) Lavadora de maíz nixtamalizadoé .. 36

Figura No. 5. a) Maiz nixtamalizado sin lavar; b) Maíz nixtamalizado lavado 37

Figura No. 5. a) Molienda ancestral en el “metate” y b) Molino de nixtamal de acero inoxidable..... 38

Figura No. 6. Producción de maíz a nivel mundial. Fuente: United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, World Corn Production (2007/Feb 2008)..... 43

Figura No. 7. Consumo de maíz a nivel mundial. Fuente: United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, World Corn Production (2007/Feb 2008)..... 44

Figura No. 8. Consumo mundial de ,maíz per cápita entre 1995-1997..... 45

Fuente: CIMMYT World Maize Facts and Trends (2000)..... 45

..... 56

Figura No. 9. Diagrama de flujo del proceso tradicional de elaboración 56

de totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado..... 56

..... 68

Figura No.10. Diagrama de flujo del proceso alternativo de 68

elaboración de totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado. 68

Figura No. 11. Diseño Experimental de las formulaciones..... 76

a partir de la sustitución de harinas no convencionales 76

Figura No. 12. Diagrama de flujo del proceso alternativo de totopos de maíz nixtamalizado 77

Figura No. 13. Rehidratado y mezclado de las formulaciones. 77

Figura No. 14. Moldeado, cortado y precocido..... 78

Figura No. 15. Esquema del espectro electromagnético..... 79

Figura No. 16. Deshidratado en horno de radiación IR. 79

Figura No. 17. Freido de las piezas deshidratadas. 80

Figura No. 18. Preparación de la muestra para análisis reológicos (tenacidad y trabajo)..... 85

Figura No. 19. Gráfica de alveografía de masas..... 85

Figura No. 20. Consistografo (izq.) y gráfica proporcionada por el software Alveograph NG..... 86

Figura No. 21. Parámetros establecidos para la 88
 evaluación de facilidad de maquinado en masas..... 88

Figura No. 22. Ejecución de la prueba de crujiencia. 90

Figura No. 23. Grafica de la evaluación de crujiencia en totopos del software Textura Exceed 91

Figura No. 24. Ensayo para determinación de plasticidad y elasticidad en totopos. 92

Figura No.25. Gráfica del software Textura Exceed para la evaluación del trabajo plástico y elástico los totopos..... 92

Figura No. 26. Composición química de HMN, HN y HSD..... 95
 99

Figura No. 27. Índice de Capacidad de Absorción de Agua (CAA) 99
 en formulaciones de HMN, HN y HSD 99

Figura No. 28. Interacción entre Nopal y Soya para CAA. 101

Figura No. 29. Índice de Capacidad de Solubilidad en Agua (CSA) 102
 en formulaciones de HMN, HN y HSD 102

Figura No. 30. Interacción entre Nopal y Soya para solubilidad de agua..... 104

Figura No. 31. Actividad de agua (a_w) en masas de 105
 HMN, HN y HSD. 105

Figura No. 32 Interacción entre Nopal y Soya para a_w 105

Figura No. 33. Humedad (% peso) en masas de HMN, HN y HSD..... 106

Figura No. 34. Plano Cromático a* vs. b* de masas de HMN, HN y HSD..... 107

Figura No. 35. Plano Cromático a* vs. b* de masas de HMN, HN y HSD..... 108

Figura No. 36. Plano Cromático a* vs. b* de masas de HMN, HN y HSD..... 108

Figura No. 37. Tenacidad (P) vs. Trabajo de deformación (W)..... 109
 en masas de HMN, HN y HSD 109

Figura No. 38. Interacción entre Nopal y Soya para P (tenacidad en masa) 110

Figura No. 39. Interacción entre Nopal y Soya para W(trabajo a la deformación)
 111

Figura No. 40. Consistencia (PrMAX) en masas de HMN, HN y HSD 112

Figura No. 41. Interacción entre Nopal y Soya para PrMax (consistencia 113

Figura No. 42. Prueba de consistencia (Consistografo Chopin)..... 114

Figura No. 43. Facilidad de maquinado F1. 116

Figura No. 44. Facilidad de maquinado excelente de masas..... 117

Figura No. 45. Facilidad de maquinado F2 y F3. 118

Figura No. 46. Facilidad de maquinado F9 deficiente contra el control (F1). 119

Figura No. 47. Facilidad de maquinado F11. 120

Figura No. 48. Facilidad de maquinado F4 no apto para procesar. 121

Figura No. 49. Temperatura de gelatinización en pico de las diferentes
 formulaciones..... 123

Figura No. 50. Entalpía de las diferentes formulaciones..... 125

Figura No. 51. Perfil de viscosidad para formulaciones en harina y en totopos.. 127

Figura No. 52. Humedad (%) de producto precocido (PC) , deshidratado solar e
 infrarrojo DS (deshidratado solar); DIR(deshidratado infrarrojo)..... 132

Figura No. 53 Plano Cromático a* vs. b* de producto precocido 134

Figura No. 54. Actividad de agua (aw) en masas, producto precocido y terminado.
 135

M(masas); P (producto precocido); T (totopo)..... 135

Figura No. 55. Humedad(X_w) de formulaciones con los diferentes tratamientos. 137
 M (masa); PC (totopo precocido); DIR (totopo deshidratado infrarrojo); DS(totopo
 deshidratado solar); F (totopo frito) 137

Figura No. 56. Pérdida de Humedad(X_w) en los diferentes 137

tratamientos aplicados 137

Figura No. 57. Plano Cromático a* vs. b* de producto terminado 138

Figura No. 58. Absorción de aceite en producto terminado. 139

Figura No. 59. Influencia de HN en la absorción de aceite. 140

Figura No. 60. Influencia de la HSD en la absorción de aceite. 141

Figura No.61. Crujencia en totopos 142

Figura No. 62. Influencia de la HN en propiedad mecánica. 143

Figura No. 63. Influencia de la HSD en la crujiencia 143

Figura No. 64. Correlación entre parámetros de crujiencia vs. IAA..... 144

Figura No.65. Área total bajo la curva. 145

Figura No.66. Trabajo plástico determinado 146

Figura No. 67. Influencia de la HN en el trabajo plástico de totopos..... 147

Figura No. 68. Influencia de la HSD en el trabajo plástico de totopos. 147

Figura No.69. Trabajo elástico determinada. 148

Figura No. 70. Influencia de la HN en el trabajo elástico de totopos..... 149

Figura No. 71. Influencia de la HSD en el trabajo elástico de totopos. 149

Figura No. 72. Incremento porcentual de las formulaciones desarrolladas vs.
Totopo Tradicional (TT)..... 150

Figura No. 73. Vista de superficie F1, F2 y F6. 151

Figura No. 74. Corte transversal F1, F2 y F7..... 152

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%).....25

Tabla No. 2. Fracción de carbohidratos presentes en el grano de maíz (%).....26

Tabla No. 3. Composición proteica del grano maíz.....29

Tabla No. 4. Composición de lipídica del grano de Maíz31

Tabla No. 5. Composición de vitaminas y minerales del grano de maíz dulce.....32

Tabla No. 6. Clasificación de botanas de acuerdo a su proceso.49

Tabla No.7. Diseño experimental de las formulaciones a partir de la sustitución porcentual de harinas no convencionales75

Tabla No. 8. Escala arbitraria de facilidad de maquinado en masas.....87

Tabla No.9. Parámetros granulares de las harinas de maíz nixtamalizado, de nopal y soya desgrasada.....97

Tabla No. 10. Facilidad de maquinado de masas con HMN, HN y HSD.....122

Tabla No. 11. CAA y ISA de formulaciones base de HMN, HN y HSD.....159

Tabla No.12. Parámetros fisicoquímicos de masas160

Tabla No.13 Parámetros reológicos de masas161

Tabla No.14. Parámetros fisicoquímicos de producto precocido162

Tabla No.15. Humedad (%) de producto deshidratado solar y por ondas infrarrojo.162

Tabla No.16. Coordenadas del plano cromatico son deshidratado infrarrojo e infrarrojo.....163

Tabla No.17. Parámetros térmicos de formulaciones163

Tabla No.18. Perfil de viscosidad en formulaciones.....164

Tabla No.19. Parámetros fisicoquímicos de totopos164

Tabla No.20. Propiedades mecánicas y de absorción de aceite de totopos165

INTRODUCCIÓN

El maíz ha sido asociado al desarrollo de grandes civilizaciones en el mundo desde hace más de 8 000 años y constituyó uno de los detonantes de desarrollos tecnológicos como el almacenamiento, procesado y conservación de los alimentos (Figuerola, 2001), fue domesticado en América y actualmente es uno de los principales cereales de vital importancia a nivel mundial pues representan la base de la alimentación de un millón de personas.

El maíz es el más importante de los granos básicos producidos en México; ocupa el primer lugar de la producción agrícola del país pero también, su importancia radica en la gran diversidad de usos en la cocina mexicana considerando que para la mayoría de los platillos es un ingrediente indispensable (Anónimo, 1997a). En México, cerca del 72% del maíz que es producido es utilizado como alimento, principalmente en la forma de productos nixtamalizados (cocimiento alcalino) (Lusas, 2001). Entre las formas principales de consumo de estos productos están: la tortilla, tostadas, totopos, botanas, sopes, flautas, tamales y un sin fin de platillos consumidos a lo largo y ancho del país.

Los niños y jóvenes presentan una preferencia evidente hacia las botanas. Esto puede ser debido a que el fenómeno publicitario constituye uno de los pasos que condicionan el cierre del proceso producción-consumo. En estas etapas de la vida, la cantidad y calidad nutricional de la proteína son particularmente importantes debido a su esencial función en el desarrollo físico y mental (Almeida-Domínguez *et al.*, 1990). Adicionalmente, el sobrepeso y la obesidad presentes en el 49.5 % de la población mayor a 20 años en México (ENSANUT, 2006) son factores de riesgo importantes para el desarrollo de enfermedades crónicas incluidas las enfermedades cardiovasculares (ECV), diabetes y cáncer, entre otras, las cuales

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

pueden ser prevenidas, tratadas y/o curadas por medio de una alimentación sana y equilibrada. (Goldberg, 1994).

El consumo *per cápita* de botanas continúa creciendo; la comida y diversión están juntas todo el tiempo, es más, las botanas de todo tipo han sido aceptadas socialmente, además de ofrecer como cortesía en algunos países a los invitados palitos de sal con vino o darles una vasija de nueces con su cerveza, se ha generalizado el placer de botanear (Tettweiler, 1991). Por ejemplo, las frituras de maíz se han convertido en el platillo clásico de la gama de bocadillos en fiestas y reuniones (Park *et al.*, 1993).

El futuro de las botanas tradicionales también depende del desarrollo de nuevas formas y sabores. El consumo se incrementa debido a factores sociales tales como el aumento de la proporción de las madres que trabajan y de niños en edad escolar que escogen sus propios alimentos y satisfactorios, los cambios en el tipo de empleos que obligan a tener vidas más nómadas y la alta disponibilidad de las botanas en tiendas vecinales y mercados de abarrotes (Véles, 2004).

En años recientes el incremento en los problemas de salud pública mencionados, la desnutrición, y la búsqueda del consumidor de productos con mayor calidad nutrimental y el aporte de un beneficio para la salud ha obligado a los procesadores a enfocarse en el desarrollo de este tipo de productos; estos puntos se han logrado por medio de cambios en el procesado de alimentos, es decir, partiendo de los alimentos tradicionales que se encuentran en el mercado, se pueden hacer modificaciones a diferentes puntos de la cadena agroalimentaria como por ejemplo: mejoramiento genético de la calidad nutrimental de los ingredientes, adición de ingredientes con mayor aporte nutrimento, adición de ingredientes funcionales, adición o eliminación de tratamientos que alteren la calidad nutrimental del producto, entre otros.

1. ANTECEDENTES

1.1. ASPECTOS GENERALES DEL MAÍZ

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal (Figuroa *et al.*, 1997), según Warman (1993) ocupa una posición equiparable a la que tiene el hombre en el reino animal. El maíz es la planta domesticada del género *Zea*, perteneciente a la familia de las gramíneas, en México, los nahuas lo denominaron *centli* (al maíz) o *tlaolli* (al grano). Es una planta originaria de América, que tenía gran importancia en la vida religiosa, política, social y cultural en los pueblos Mesoamericanos. En Mesoamérica el maíz fue un factor muy importante en el desarrollo de las civilizaciones (Katz *et al.*, 1994). En México, lo divinizaron y lo adoraron con el nombre de *Centeótl*, diosa de la tierra y del maíz (figura 3 y 4), rindiéndole culto en cada uno de sus distintos aspectos, bien como *Chicomecóatl*, diosa de los mantenimientos; *Centeotícíhuatl*, la del maíz maduro; *Xilonen*, la del maíz tierno; entre otros, así mismo todos los grupos étnicos que habitaron Mesoamérica consideraron al maíz como raíz de su origen; “*Fue creado entonces el hombre de maíz y los dioses vieron coronados sus esfuerzos*”.

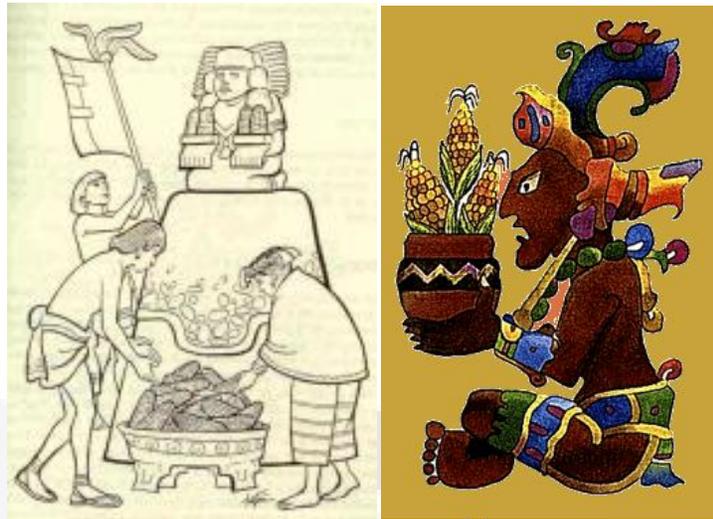


Figura No. 1: a)Tributo a la divinidad del maíz; b) Dios del maíz también conocido como Ah Mun.

Moneda, alimento y religión, el maíz es un elemento asociado a varios siglos de nuestra historia nacional. México al igual que otros países de América Latina, es una cultura de maíz; gran parte de las actividades individuales y sociales de sus habitantes dependen de esta planta (Véles, 2004)

1.1.1. Aspectos botánicos

El maíz (*Zea Mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas, tribus de las maideas. Es la única especie del género *Zea*. Se trata de una planta anual de gran desarrollo vegetativo (puede alcanzar 4 m de altura), cuyo tallo lleva de 12 a 20 hojas de limbo bien desarrollado (35 a 50 cm de longitud; 4 a 10 cm de ancho). El tallo puede emitir varios brotes. El sistema radicular de tipo fasciculado está formado por tres tipos de raíces: las raíces seminales (nacidas de la semilla), las raíces secundarias (que constituyen casi la totalidad del sistema radicular), y las raíces adventicias que aparecen en el último lugar, a nivel de los primeros nudos situados por encima de la superficie del suelo (Fleury y *et al.*, 1979).

Debido a su excelente capacidad para adaptarse a diversos ambientes, es capaz de desarrollarse tanto en latitudes altas que varían desde el Ecuador ligeramente

a 50° al norte y sur, así como también al nivel del mar y hasta 3000 metros de altura, bajo condiciones de fuertes lluvias y condiciones semiáridas, en climas frescos y calientes y con ciclos de cultivos que van desde 3 a 13 meses (Anónimo, 1997a).

A pesar de varias controversias sobre el origen del maíz en América, considerándose el método científico para establecer el origen geográfico de las plantas cultivadas desarrollado por el naturista Alphonse de Candolle (1882) y analizándose los cuatro tipos de evidencias: históricas, lingüísticas, arqueológicas y botánicas sugieren que la selección del maíz tuvo lugar inicialmente en México, que fue el centro primario de su origen y domesticación hace 7 a 10 mil años (Mangelsdorf, 1974); y donde se encuentran 50 variedades de maíz de las 300 encontradas en todo el continente Americano (Figuroa *et. al.*, 2003).

1.1.2. Composición anatómica del maíz

La semilla del maíz esta compuesta básicamente de 4 partes principales: pericarpio y aleurona, pedicelo, endospermo y germen. En la Figura No. 1 se muestra la estructura de la semilla.

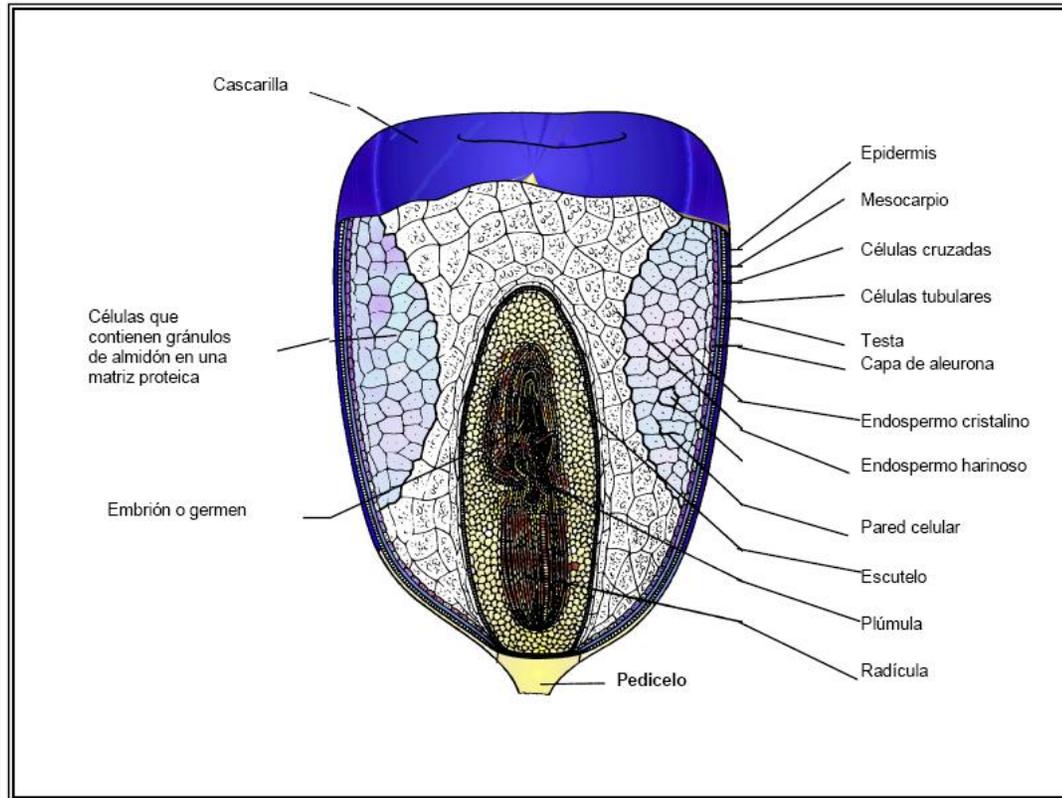


Figura No. 2. Descripción botánica de la semilla del maíz

El fruto de la planta del maíz es un cariósipide y está formado por las siguientes partes:

a) Pericarpio: Cubierta del fruto de origen materno, se conoce como testa, hollejo o cáscara. Ésta es la verdadera cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores. El pericarpio está compuesto por una capa de cutícula cerosa que cubre a la epidermis, ambas retardan la absorción de humedad al interior del grano por el mesocarpio, compuesto por células alargadas y estrechamente adheridas con numerosas cavidades que proveen interconexiones capilares entre todas las células y facilitando la absorción de agua. Todas la parte del pericarpio están compuestas por células muertas que son de forma tubular (Earle *et al.*, 1946; Watson, 1988; Jackson y Shandera, 1995).

b) Pedicelo: Representa aproximadamente el 0.8% del grano y es la estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote. Esta compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro. A esta capa le sigue una serie de células parenquimatosas en forma de estrellas, ligadas por sus puntas, formando una estructura frágil y porosa, conectada con la capa de células cruzadas del pericarpio. Esta estructura es responsable de la absorción de líquidos del pedicelo al pericarpio (Earle y *et al.*, 1946; Jackson y Shandera, 1995).

c) Endospermo: Esta compuesto por células alargadas con delgadas paredes de material celulósico, empaçadas con gránulos de almidón (de 5 a 30 μm) sumergidos en una continua matriz proteica (almidón-proteína), es depositada y contenida en grandes estructuras celulares. La unión e integridad estructural entre la proteína y los gránulos de almidón hace completamente duro al grano de maíz. Tejido de reserva de la semilla, que alimenta al embrión durante la germinación. Es la parte de mayor volumen. Hay dos regiones bien diferenciadas en el endospermo, el suave o harinoso y el duro o vítreo. La proporción depende de la variedad. La primera zona es dura, donde se encuentra el almidón cristalino y la otra es blanda, donde se encuentra el almidón harinoso (Hoseney, 1998). Son estas diferencias en la estructura del grano las que afectan el comportamiento de las harinas resultantes del proceso de nixtamalización del grano, obtención de masa, desecado y molienda (Narváez-González, 2006). El endospermo constituye aproximadamente el 82.3% del grano en peso seco y está compuesto principalmente por almidón (86.4%), (Earle y *et al.*, 1946; Watson, 1988; Jackson y Shandera, 1995).

d) Embrión o germen: Planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla. Es el embrión u órgano reproductor del grano y está compuesto por plúmula, radícula y escutelo. El escutelo constituye el 90% del germen y funciona como un órgano o almacén de nutrientes y hormonas que son movilizados por enzimas sintetizadas durante la etapa inicial de germinación hacia la plúmula (Earle y *et al.*, 1946; Watson, 1988; Jackson y Shandera, 1995). Todas las

células del embrión y el escutelo son potencialmente activadas metabólicamente durante una hidratación (Watson, 1988).

Cada una de las partes anatómicas tiene constituyentes químicos en diferentes proporciones, en la tabla No. 1 se muestran los contenidos:

Tabla No. 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%).

Componente químico (%)	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Almidón	7.3	87.6	8.3
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 1987.

En la nixtamalización el endospermo y germen sufren pérdidas menores, en cambio el pericarpio que contiene el 86.7 % de fibra es perdido durante el lavado del maíz y desechado con otros residuos nutrimentales como vitaminas, minerales, ácidos grasos y proteínas en un líquido residual altamente contaminante llamado nejayote.

1.1.3. Composición química del maíz

1.1.3.1. Carbohidratos. El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, (que es la forma en que los cereales almacenan energía) al que corresponde hasta el 73% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que

varían del 1 al 3% del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina.

Tabla No. 2. Fracción de carbohidratos presentes en el grano de maíz (%)

Carbohidratos	%
Carbohidratos totales	76.7
Almidón	72.4
Fibra dietética total	12.8
Fibra dietética soluble	1.1
βGlucanos	-
Pentosanos	6.1
Azúcares Solubles	1.9

Fuente: Serna-Saldívar, 2001

El almidón es el segundo polisacárido más importante y abundante, después de la celulosa. El gránulo de almidón tiene una forma poligonal o esférico, con un tamaño de entre 5 y 25 micras, su temperatura de gelatinización es de 62-72 °C, formado un gel de viscosidad media, opaco y tiene una tendencia muy alta a melificar, lo cual nos hace obtener productos procesados más sólidos.

Está conformado de dos polisacáridos muy similares: la amilosa y la amilopectina.

La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30% del almidón. La amilasa es un producto de la condensación de d-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$, con largas cadenas lineales de 200- 2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón. Tiene la forma de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa.

El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75% del almidón. La amilopectina contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol, las ramas están unidas al tronco central por enlaces α -D(1-6) , cada 15-25 unidades lineales de glucosa, su peso molecular es muy alto hasta 200 millones de daltones.

La matriz proteica que rodea los gránulos de almidón es más gruesa en el endospermo vítreo que en el endospermo harinoso (Wang and Eckhoff 2000). Narváez-Gonzalez *et al.*, (2006) encontraron un alto nivel de compactación del almidón en maíces con gran densidad proteica que rodea los gránulos de almidón.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura esta altamente organizada, y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes, debido a esto durante la hidratación de harinas de maíz nixtamalizadas es deseable agregar agua entre 40-50 °C para favorecer la absorción de agua y formación de la masa; a medida que se incrementa la temperatura se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante, y para esto se requiere más energía. Estos gránulos en exceso de agua, y exponiendo al calor, o dañando mecánica, química o enzimáticamente, gelatiniza formando estructuras sólidas. Este proceso es irreversible.

Este proceso de fenómenos se denomina gelatinización, y es el que provee información importante acerca de la funcionalidad, los requerimientos energéticos y el uso final de este cereal (Narváez-González *et al.*, 2007). Tanto la amilasa como la amilopectina y su estructura molecular influyen de manera determinante en la propiedades reológicas y funcionales del almidón en productos de maíz (Jane y Chen, 1992).

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Las propiedades funcionales de la mayoría de los productos de maíz (*Zea mays*) están influenciadas por el almidón, a diferencia de lo que ocurre con el trigo (*Triticum aestivum* L) cuyas características están influenciadas principalmente por las proteínas (Bedolla y Rooney, 1984; Serna-Saldivar et al., 1990).

La temperatura de cocción que sufren los productos de maíz nixtamalizado oscilan entre 180 y 270 ° C, esto permiten que se presente la gelatinización y solidificación de las estructuras formadas por los componentes básicos del almidón: amilasa y amilopectina, en conjunción con grasas, proteínas, agua y otros ingredientes. En granos altamente compactos, la retrogradación es más lenta pero con un alto rango de gelatinización, y generalmente son estos granos los que utilizada la industria harinera, para tener un mayor control en la nixtamalización.

Además de su valor nutritivo, el almidón es importante a causa de su efecto sobre las propiedades físicas de muchos de nuestros alimentos. Por ejemplo: la gelificación, el espesamiento de las salsas y el fraguado de algunos postres, está todo ello fuertemente influenciado por las propiedades del almidón. El almidón también es un producto industrial importante, particularmente en la industria papelera.

Otro componente presente en el maíz es la fibra dietética, con sus fracciones solubles e insolubles. La fracción soluble es un componente importante en el desarrollo de un producto, debido a su gran capacidad de absorber o ligar agua, conformada por b-glucanos y pentosanos (denominados comúnmente gomas), los cuales hacen que se tenga menos agua disponible para solubilizar con otros ingredientes y se puedan obtener texturas secas. En cambio la parte insoluble, donde encontramos celulosa y hemicelulosa, no altera el comportamiento químico del agua en el alimento, pero de igual forma hace la masa más pesada pues son partículas grandes, poco parecidas a un polvo.

La fibra soluble, desde el punto de vista de salud tiene una importancia muy amplia pues su consumo se ha relacionado a la reducción del colesterol serico. Y por su parte la fibra insoluble afecta el tránsito intestinal y la tasa de absorción de nutrientes, además de evitar también la absorción de glucosa, un problema latente en personas que padecen diabetes.

Otro componente presente son los azúcares solubles entre los que se encuentran principalmente: glucosa, fructosa y sacarosa, se encuentran en pequeñas cantidades, alrededor del 2 %.

1.1.3.2. Proteínas. Las proteínas constituyen el segundo componente químico del grano por orden de importancia, después del almidón. El contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11% del peso del grano y en su mayor parte se encuentran en el endospermo.

Tabla No. 3. Composición proteica del grano maíz

Proteína	%
Glutelinas	30
Prolaminas	55
Simples	41
Ligadas	14
Albúminas	7
Globulinas	2

Fuente: Serna-Saldívar, 2001

A diferencia de los carbohidratos, el contenido proteico de cereales difiere notablemente, debido a características genóticas y condiciones ambientales. Primeramente las proteínas se dividen de acuerdo a la solubilidad: hidrosolubles (albúminas),solubles en soluciones iónicas débiles (globulinas), insolubles en agua (glutelinas).

Del total de la proteína del grano entero, alrededor de 55% son prolaminas (zeínas) representan la principal proteína de reserva en el grano de maíz, se localizan principalmente en el endospermo del grano y conforman cuerpos proteínicos rodean a los gránulos de almidón. Por su parte las glutelinas (25%) se encuentran tanto en el germen como en el endospermo, estas forman la matriz proteínica en la que se encuentran inmersos los gránulos de almidón.

Las albúminas y globulinas son perdidas durante el proceso de nixtamalización o convertidas en una forma insoluble .(Martínez-Flores *et al*, 2002; Ortega *et al.*, 1986; Bressani *et al.*, 1958). La proteína más importante que sufre un cambio durante la nixtamalización es la zeína (*true zein*), la cual decrece su solubilidad en un 71.6 % en el proceso de elaboración de tortillas por el método tradicional y en procesos de extrusión hasta el 46.7 % debido al tratamiento alcalino (Martínez-Flores *et al.*, 2002).

En las leguminosas, como por ejemplo la soya el contenido de gluteninas se reduce junto con las albúminas a un 10-20 % y las que tienen el mayor porcentaje son las globulinas con un 70%.

Las proteínas afectan propiedades durante el procesamiento, almacenamiento y preparación de los alimentos alteran interacciones hidrofóbicas y puentes disulfuros que nos da un cambio en la elasticidad, también pueden ligar grasa y sabores por propiedades de atrapamiento. Las proteínas de la soya alteran la hidrofiliidad, hidrodinámica del tamaño y la forma aumentando la viscosidad por ejemplo en masas, además de alterar la absorción interfacial donde altera la capacidad de absorción y retención de agua en masas.

Kovacs *et al.*, (2004) encontraron que la densidad de empaque del gluten afecta su funcionalidad. Las propiedades tecnológicas y térmicas de las harinas proveen información importante acerca de su funcionalidad.

1.1.3.3. Lípidos. Dentro de la composición lipídica de los granos de maíz es encuentran diversos ácidos grasos, por representa un porcentaje menor abarcando del 2.5-3-5 % del grano. El germen es rico aceite, pero también se encuentran fracciones de proteína, carbohidratos y cenizas.

Tabla No. 4. Composición de lipídica del grano de Maíz.

Composición	%
Ácidos grasos	4.4
Mirístico	-
Palmítico	11.9
Palmitoleico	-
Esteárico	1.9
Oleico	29.3
Linoleico	55.5
Linolenico	1.0

Fuente: Serna-Saldívar, 2001

De menor proporción que los carbohidratos y las proteínas, los ácidos grasos no presentan más del 4.5 % de estos dos cereales. Esta fracción se encuentra principalmente en el germen, como todo ácido graso susceptible a la oxidación y rancidez es deseable su separación, para evitar el desencadenamiento de oxidación de ácidos grasos, en el caso del maíz si se obtiene aceite pero en el caso del trigo y debido a que su fracción es muy pequeña.

El ácidos grasos de mayor presencia es el linoleico que representa el 50 % de la composición en ambos cereales, seguido por el oleico y el palmitico. Aunque las proporciones parecen similares, cabe mencionar que el maíz contiene el doble de ácidos grasos que el trigo.

Los aceites y grasas, son estructuras de mezclas de los triglicéridos y su funcionalidad o característica de aplicación que los diferencia entre sí, está en relación directa con su composición de triglicéridos. Los aceites y grasas imparten las siguientes características funcionales principales: lubricación, estructura, aireación, oclusión de humedad, medio de calentamiento, nutrición, vehículo y disolvente (aditivos grasos, vitaminas, sabores y colores).

1.1.3.4. Vitaminas y minerales. El contenido de los micronutrientes en el grano de maíz depende de diversos factores como el genotipo, manejo del cultivo, suelos, y también los procesos posteriores aplicados al grano como nixtamalización.

A continuación se muestra la composición de nutrimentos contenidos en el grano de maíz dulce, componente por cada 100 gramos de maíz.

Tabla No. 5. Composición de vitaminas y minerales del grano de maíz dulce.

Componente	Contenido	% IDR
Vitamina A	10 µg	1
Tiamina (Vit B1)	0.2 mg	15
Niacina (Vit. B3)	1.7 mg	11

Folato (Vit. B9)	46 µg	12
Vitamina C	7 mg	12
Hierro	0.5 mg	4
Magnesio	37 mg	10
Potasio	270 mg	6

Fuente: USDA Nutrient database. Dosis diaria recomendada por la FDA para personas adultas

1.2. NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ

1.2.1. Antecedentes

El maíz para consumo humano ha sido procesado en México, desde tiempos remotos, siguiendo la técnica precolombina llamada nixtamalización (del náhuatl *nixtli* cal de cenizas y *tamalli* masa de maíz cocida) (Cabrera, 1992). Este proceso de cocimiento de maíz con cal (nixtamalización) se cree fue inventado hace 3500 años. El proceso ancestral de nixtamalización consistía en calentar por alrededor de media hora agua en una olla de barro y poner un puño de cal, este proceso se dejaba reposar durante de 12 horas aproximadamente, normalmente se hacia en la noche, después se lavaba, se molía en un metate (molino manual de piedra volcánica) y se obtenía masa de nixtamal, con el cual de elaboraban diversos productos desde alimentos: tortilla, totopos, arepas, tlayudas, sopes, enchiladas y un sin fin de productos hasta bebidas como el atole, tesgüino, pozol, etc. Es indiscutible el desarrollo tecnológico y la trascendencia del proceso de nixtamalización en las algunas civilizaciones, podría pensarse que este método fue inventado solo para suavizar el grano y pareciera no tener otra función (Figuroa *et al.*, 1997), lo cual ya representa un avance tecnológico, sin embargo es este cocimiento alcalino el que tiene una trascendencia tal, que hace que los alimentos derivados del maíz nixtamalizado tengan mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo que aunque contiene casi todos los nutrimentos en mayor y menor cantidad, su composición cambia según la variedad y otros

factores climáticos, genéticos, prácticas agronómicas, etc., pero también resulta deficiente en aminoácidos esenciales (lisina y triptofano), niacina y vitamina del complejo B que es sintetizada a partir del triptofano (Katz, 1974; Trejo-González, 1982).

1.2.2. Proceso de nixtamalización

El proceso de nixtamalización en la industria no ha cambiado mucho en 100 años comparado con otras industrias en alimentos, se han incluido equipos nuevos como pailas de acero inoxidable donde se cuece el maíz, los molinos de nixtamal de piedras volcánicas, y puede ser que el equipo con más modificaciones fue la tortilladora que inicia como la tortilladora de aplasión en 1905 (un instrumento muy usual en los hogares); la tortilladora de cocimiento automático (1915); de rodillos en 1947 y en 1963 la tortilladora completamente automática (Marca Celorio), que amasa, hace la tortilla, la cuece y la enfría, está es la maquinaria que normalmente encontramos en la micro y pequeña empresa.

1.2.2.1. Cocimiento. El maíz es vaciado a las marmitas de cocimiento con chaqueta de vapor. Se les agrega agua suficiente y un 1% de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). La solución se lleva a ebullición. A partir de que empiece a hervir, se inicia el tiempo de cocimiento que puede variar de 4 a 10 minutos para tortilla chips (totopos), 30 minutos para tortilla y de 15 a 45 minutos para corn-chips a una temperatura de 93°C. (Véles, 2004)

Una vez terminado el período de cocimiento, se agrega agua fría al maíz; esto es debido a dos razones: 1) lograr que la temperatura baje a menos de 49° C, con lo cual se evitará que el almidón se sobre gelatinice y 2) Lograr que la solución tenga una mayor cantidad de agua para evitar que los granos de maíz se quiebren cuando sean bombeados con la consiguiente pérdida de sólidos.



Figura No 3. a) Cocimiento artesanal de maíz, b) Paila de acero inoxidable para cocimiento de maíz.

Cuando los granos son sometidos a un cocimiento alcalino, muchos cambios químicos ocurren como: la gelatinización del almidón (Gómez, *et al.*, 1991), desnaturalización y cambios en la solubilización de fracciones proteicas (Martínez-Flores *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 1986; Vivas *et al.*, 1987), emulsificación de lípidos (Martínez-Bustos *et al.*, 2001; Pflugfelder *et al.*, 1988); y otros cambios físicos como el reblandecimiento del grano y la desintegración de la cascarilla (Véles, 2004), estos cambios juntos son necesarios para la obtención de masa de excelente textura y calidad.

Estos cambios físicos y químicos aumentan en la medida que los granos son más pequeños, están más quebrados y/o facturados, la cal es más activa y soluble, y se aplica mayor temperatura arriba de aproximadamente 60-70°C por tiempo. El periodo del reposo debe permitir la difusión de la humedad dentro del grano para producir granos de nixtamal hidratados homogéneamente. En estas condiciones, el nixtamal es blando, prácticamente libre de pericarpio.

Los granos se hinchan debido al efecto combinado de la gelatinización del almidón, degradación parcial de la estructura del endospermo,

degradación/solubilización parcial de la pared celular y la solubilización parcial de la matriz proteica (Morales, 1989).

1.2.2.2. Lavado. Una vez terminado el tiempo de reposo, el maíz es llevado al cilindro lavador, en el cual se eliminará la celulosa (cáscara) desprendida, la cabeza del grano y la cal. Si la celulosa y la cabeza del grano no son removidas, ocasionarán que el producto sea duro y quebradizo. El lavado tiene las funciones de eliminar el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento, además de enfriar el nixtamal dependiendo del tipo de cocimiento empleado (Almeida, 1996).

Como consecuencia del lavado el pH disminuye, se pierde materia seca, y puede mejorarse el color del producto. En ocasiones se disminuye o elimina el lavado con el propósito de conservar las gomas naturales del maíz (hemicelulosa y otras fibras solubles) y no reducir los rendimientos. Las gomas del maíz ayudan a retener el agua e imparten flexibilidad y suavidad a la masa y las tortillas. Por otro lado cuando se retiene el exceso de cal existe un mayor riesgo de oscurecimiento del producto (Almeida, 1996).



Figura No. 4. a) Lavado de maíz manual; b) Lavadora de maíz nixtamalizado

En la figura No. 5, se observan los cambios que presenta el maíz después del cocimiento y después del lavado, la eliminación de color, pericarpio, gomas naturales, pérdida de materia seca, etc.



Figura No. 5. a) Maíz nixtamalizado sin lavar; b) Maíz nixtamalizado lavado

1.2.2.3. Molienda. Del cilindro lavador, el maíz pasa al molino de piedras, que consta de un par de piedras volcánicas dispuestas una frente a la otra, de las cuales una gira y la otra permanecen estática. El grado de molido del maíz puede ser determinado por la abertura existente entre las piedras. No es conveniente agregar agua al maíz en el molino, ya que pueden aparecer estrías en la superficie del producto como resultado de la mala integración del agua a la masa, lo que ocasionará que sea pegajosa. El maíz debe adquirir la humedad requerida durante el tiempo de reposo. Debe vigilarse que la masa no se sobre trabaje en el molino, debido a que se le formarán ampollas al producto.

Es importante que las dos piedras del molino sean colocadas paralelamente, con una abertura entre las mismas que debe ser igual en cualquier punto, ya que de lo contrario existirán espacios por donde escapen partículas grandes que evitarán la uniformidad de la masa, la separación entre piedras influye en la consistencia de la masa requerida.. Es conveniente que siempre se usen los mismos pares de piedras, evitando combinar piedras de diferentes pares. Para que el picado de las piedras sea siempre el mismo, se recomienda elaborar un molde, o de lo contrario

el picado variará, lo que traerá como consecuencia una diferencia en la calidad del molido (Almeida, 1996).

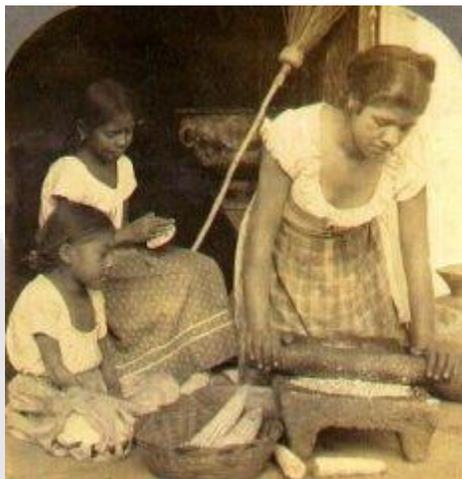


Figura No. 5. a) Molienda ancestral en el “metate” y b) Molino de nixtamal de acero inoxidable.

Para productos fritos el nixtamal debe tener menos humedad. El tamaño, el tipo y estado del rayado y la separación entre las piedras afectan el tamaño de las partículas de la masa (finas o gruesas), la eficiencia, la fricción y el calentamiento desarrollados durante la molienda. Canales profundos en el rayado producen masa más gruesa. La adición de agua durante la molienda disminuye la fricción, evita el sobrecalentamiento y produce masa más suave. El rango de temperatura de la masa fresca común en la industria cuando sale del molino es de 50-75°C.

La molienda de nixtamal que se paso de cocimiento, con alto contenido de humedad, entre piedras cerradas, sin adición de agua genera exceso de calor y tiende a producir masa pegajosa que se seca rápidamente. El servicio regular de las piedras y la aplicación de un rayado similar son críticos para el control de la molienda (Almeida, 1996).

La composición de la masa consiste de 10.5% de proteína, 4.2% de grasa, 1.9% de ceniza, 72.6% de almidón y 10.8% de fibra (Gómez *et al.*, 1989).

1.2.3. Ventajas de la nixtamalización

La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz. Durante el proceso de cocimiento alcalino, la zeína, una proteína nutricionalmente pobre, reduce su solubilidad, mientras que la glutelina, de mayor valor nutricional aumenta su solubilidad con ello la disponibilidad de aminoácidos esenciales; pero también se ha observado por el contrario que se pierde un cierto valor nutricional con el tratamiento alcalino. (Paredes-López, *et al.*, 1983; Bressani, *et al.*, 1958; Trejo-González, *et al.*, 1982); Martínez-Flores *et al.*, (2002) encontraron que el grano nixtamalizado disminuye en 1.9 % el contenido proteico, en un 10.3 % el contenido de lípidos y 30.7 % de fibra dietaria.

El balance nutricional del proceso de nixtamalización es definitivamente positivo y los resultados indican un aumento de lisina (2.8 veces) y de triptófano (Figuroa, *et al.*, 1994); además las relaciones de isoleucina a leucina se incrementan 1.8 veces (Katz, *et al.*, 1974). Bressani, *et al.*, (1958) observan claramente un aumento en el balance de aminoácidos esenciales y la liberación de niacina que de otra manera permanecería sin ser aprovechada.

1.3. HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO

1.3.1. Antecedentes

Uno de los logros tecnológicos más importantes en este campos es la fabricación de harinas de maíz nixtamalizado (HMN) que comenzó a utilizarse apenas hace 50 años (Figuroa, *et al.*, 2001), a parte de tener ventajas prácticas para su preparación, reduce considerablemente la mano de obra, la inversión para equipo, los problemas asociados con la adquisición de granos de maíz y la generación de desechos contaminantes (nejayote) durante la elaboración del nixtamal (Bello *et*

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

al., 2006), la HMN puede almacenarse a temperatura ambiente por relativamente periodos largos, la producción y distribución puede ser ajustada a la demanda, el producto es altamente homogéneo y tiene mejores condiciones de higiene. Sin embargo entre algunas desventajas se tienen el incremento de los costos, la carencia de olor y de textura apropiada comparada con la masa de nixtamal (Figuroa, *et al.*, 2001).

Gomez-Aldapa *et al.*, (1999) y Jackson *et al.*, (1988) reportaron que componentes nitrogenados, almidón, lípidos, vitaminas y minerales son perdidos durante el proceso de nixtamalización. Pflugfelder *et al.*, (1988) observo que la perdida de sólidos durante el proceso puede ser de entre 5 y 14 %.

1.3.2. Proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado

Para la elaboración de harina de maíz nixtamalizada, se deshidrata la masa en un secador a una temperatura de entrada de 275° C y a una temperatura de salida de 90° C. El sistema puede ser continuo, el maíz se desliza por un túnel, o por lotes (en *batch*). La humedad final del producto oscila entre 8 - 10%. El material sometido a molienda se cierce en diferentes granulometrías dependiendo del destino final de la harina, para la elaboración de productos fritos se utilizan en mallas de 0.8 y 2 mm (Véles, 2004).

Las harineras utilizan sólo maíz para producir la harina, la diferencia con el proceso tradicional es que se usa menor cantidad de cal y se le da menor tiempo de reposo al nixtamal, a fin de reducir la pérdida de material sólido en el reposo y lavado del nixtamal. Estas modificaciones en el proceso afectan la calidad de la tortilla que se produce a partir de la harina.

2.3.3. Ventajas del uso de harina de maíz nixtamalizado

Las harinas de maíz nixtamalizado, son en realidad harinas pre-gelatinizadas, en donde el grano ha sido sometido a un proceso térmico previo, dándole características nuevas y usos diversificados. Cambio en las propiedades como capacidad de absorción de agua, solubilidad, viscosidad en un medio acuoso son características de las harinas pregelatinizadas (Harper *et al.*, 1981)

En cuanto al valor nutrimental de las masas de maíz nixtamalizado y las HMN, las primeras tienen cantidades significativas de gránulos de almidón libres con bajo contenido de proteína y las HMN tienen una cantidad de almidón y proteína muy similar presentes en el grano de maíz (Gómez *et al.*, 1991). Aunque durante la molienda ocurre un daño en los gránulos de almidón, modificando su estructura y convirtiendo las zonas cristalinas en moléculas desordenadas, que pueden hidratar fácilmente y degradarse en enzimas amilolíticas. El daño en almidón y excesivo calentamiento puede generar una masa pegajosa, grumosa y tortillas con características poco deseadas (Martínez-Flores *et al.*, 1998).

Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) están la distribución del tamaño de la partícula, pH, la capacidad de absorción de agua y la reología de las masas (Figueroa *et al.*, 1997; Campues -Baypoli *et al.*, 1999).

Las tortillas requieren una harina que contenga partículas finas en su distribución de tamaño de partícula para que promueva el desarrollo de mayor flexibilidad y cohesión, mientras que las tostadas de maíz y totopos requieren una distribución de tamaño de partícula gruesa ya que promueve una textura crujiente (Fernández-Muñoz *et al.*, 2005)

El tamaño de las partículas afecta de forma muy significativa a la estabilidad de las masas, productos intermedios y finales; entre más grande sea el tamaño de las mismas mayor es la estabilidad, ya que la superficie total de las partículas es menor en relación al peso total y pueden también influir en propiedades como la

capacidad de absorción y retención de agua en las formulaciones. La capacidad de absorción de agua (CAA) es la cantidad de agua que absorbe la harina para obtener una masa de consistencia apropiada para la preparación de tortillas, tostadas, totopos o cualquier producto de maíz nixtamalizado. El índice de solubilidad en agua (ISA) indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando una muestra de harina se somete a un exceso de este líquido, indica también el grado de cocción que ha tenido el grano con que se preparó la harina (González *et al.*, 1991).

1.3.4. Nuevas tendencias en el proceso de nixtamalización

Desde hace una década, la mira de los grupos científicos y empresariales se han enfocado en el desarrollo de una técnica más sencilla, de menor tiempo, más eficiente y menos contaminante que la actual. El grupo de investigadores pertenecientes al Programa Multidisciplinario en Materiales Avanzados (PROMUMATA) del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) han desarrollado un proceso continuo a partir de fuentes no convencionales de energía : radiación de alta frecuencia, ondas de radio de baja frecuencia, microondas, infrarrojo y cocimiento ohmico (Figuroa, *et al.*, 1997).

1.4. CONSUMO

En las gráficas No. 6 y 7, se muestra la producción y el consumo a nivel mundial, se observa la presencia importante de EE.UU. y China en la producción de maíz, aunque ambos países no destinan en su totalidad al consumo humano también se destina para alimento animal y la producción de biocombustibles entre otros, está última es una amenaza para la disponibilidad, fluctuación de precios y productores de alimentos derivados de este cereal.

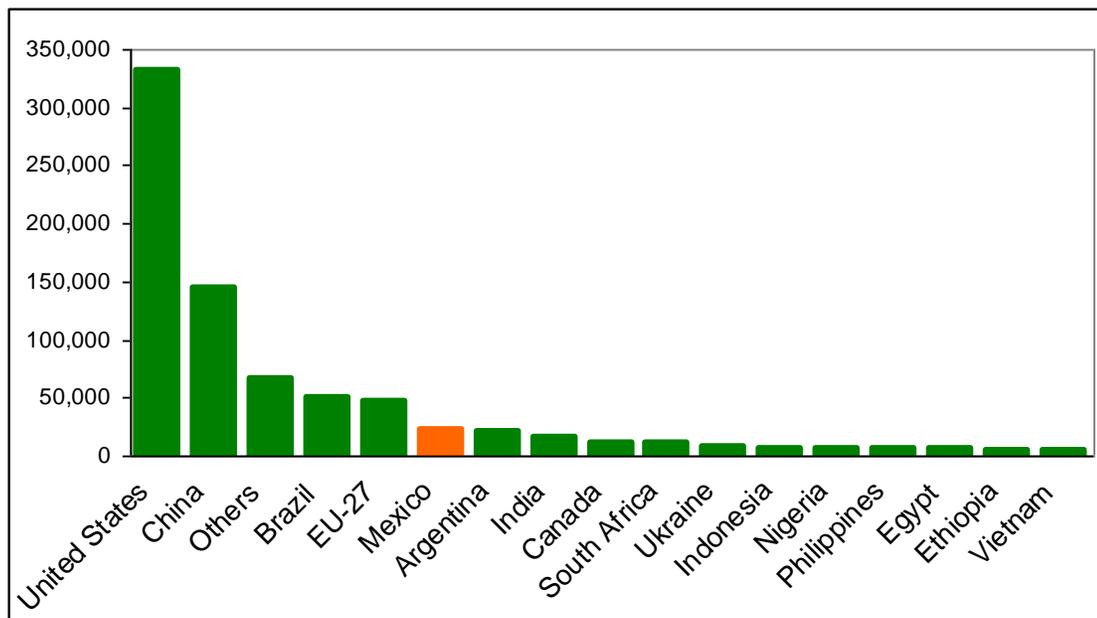


Figura No. 6. Producción de maíz a nivel mundial. Fuente: United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, World Corn Production (2007/Feb 2008).

México no aparece como un productor importante y su consumo supera la producción nacional que tiene, varios factores afectan el consumo de maíz como la población del país, el destino final en el consumo, y la diversificación de productos industrializados a partir de este grano. En el México moderno, el maíz representa el componente más importante de la producción agrícola pues ocupa aproximadamente la mitad de la superficie destinada a la agricultura.

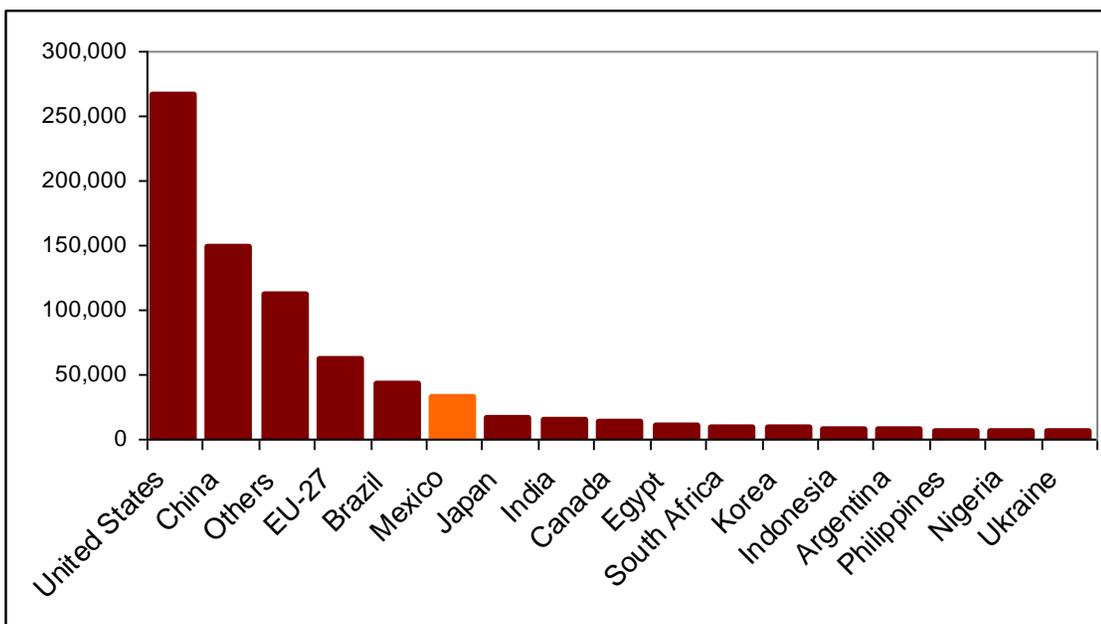
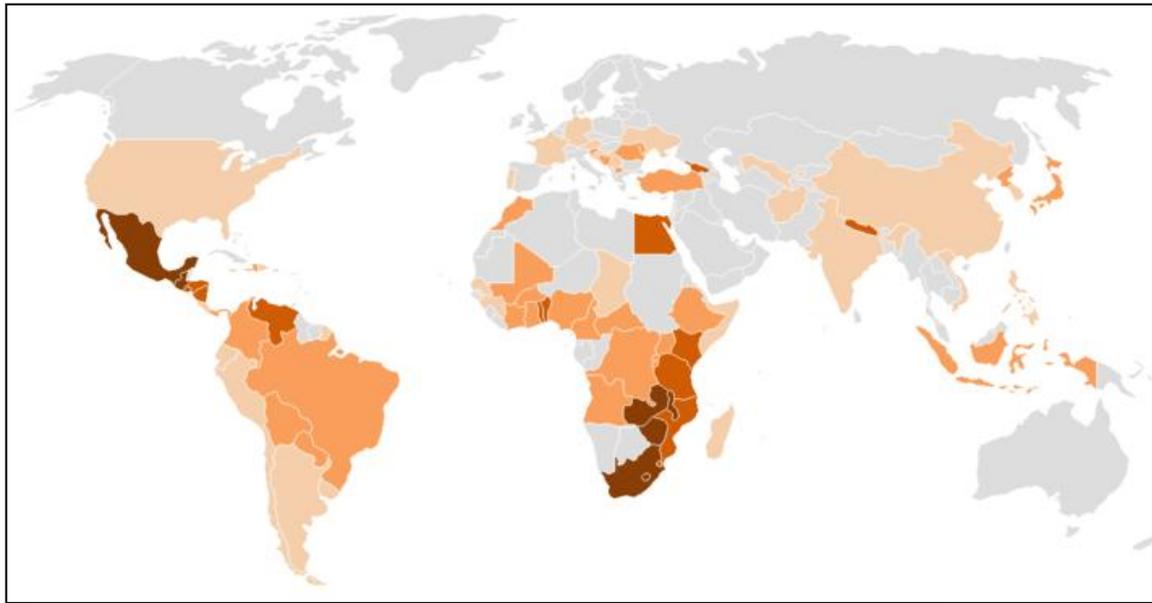


Figura No. 7. Consumo de maíz a nivel mundial. Fuente: United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, World Corn Production (2007/Feb 2008).

La figura No. 8 muestra el consumo de maíz per cápita anual a nivel mundial, y claramente se observa el rango más alto para México. Es importante resaltar la presencia de algunos países africanos con alto consumo de maíz. Obatolu *et al.*, (2007) de Obafemi Awolowo University han puesto atención en el desarrollo de alimentos mejorados y sobre todo diversificar los alimentos nutritivos para la población rural de Nigeria y desarrollaron una tortilla de maíz y soya como un vehículo importante de nutrientes.



- más de 100 kg/año
- de 50 a 99 kg/año
- de 19 a 49 kg/año
- de 6 a 18 kg/año
- menos de 5 kg/año

Figura No. 8. Consumo mundial de ,maíz per cápita entre 1995-1997.
Fuente: CIMMYT World Maize Facts and Trends (2000).

Con el desarrollo de la nutrición humana se ha determinado que el consumo de carbohidratos debe de representar el 65 % de la dieta diaria. En México, el consumo *per cápita* de maíz nixtamalizado alcanzo en 1984 (FAO) los 120 kilos ó 329 gramos diarios, González-Hernández, 1997 encontraron que el consumo de maíz aporta 1,061 calorías por persona diariamente, y 27.1 gramos de proteínas, lo que representa el 45.3 % y 38.8 % respectivamente, pero estos datos se incrementan de manera significativa en zonas rurales, estos porcentajes alcanzan hasta el 70% de energía aportado por maíz nixtamalizado y 50 % de proteínas en México, sin embargo este consumo ha venido disminuyendo, por la problemática

que presenta el establecimiento y variación del precio, recordando que este producto es parte esencial de la canasta básica del mexicano, y en los últimos 2 años ha presentado un incremento del 30 % por kilo de maíz, y la tortilla paso de 8 hasta 14 por kilo, considero han sido factores importantes para la reducción de este consumo, según un estudio de GRUMA el principal productor de HMN, en 2007 el consumo *per cápita* de tortilla alcanzo los 70 kg.

En el 2005 se destinaron 3,075 millones de toneladas de maíz para la obtención de harina a través del proceso de nixtamalización y 2,756.7 millones de toneladas para la el procesamiento de botanas, almidones, cereales y semillas según la Cámara Nacional de Maíz Industrializado. Desgraciadamente el maíz no es un alimento perfecto debido a que carece de proteína de buena calidad y de niveles adecuados de hierro, zinc y vitaminas A, D, E y B12 (Stylianopoulos, 2002).

2.1. BOTANAS

2.1.1. Antecedentes

En las ultimas décadas la población a nivel mundial ha cambiado de forma drástica los hábitos alimenticios, debido a múltiples factores laborales, sociales, económicos, etc. esto aunado al desarrollo y mejoramiento de alimentos por parte de la investigación y la industria han permitido disponer de alimentos fácil de prepararse, listos para consumirse, con mejores características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales para el consumidor.

Algunos de los productos más demandados por la población han sido los alimentos denominados botanas o *snacks*, los cuales son alimentos listos para consumirse, dulces o salados, que se consumen entre comidas, por la simple necesidad de comer, por carencia de tiempo para cocinar, por hambre. por antojo, convivencia social, laboral, etc.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Estos productos aunque de alto consumo están catalogados como “chatarra”, sin tomar en cuenta que aportan energía, proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales en mayor o menor proporción. Se han etiquetado pero poco se ha hecho por proveer a la población de alimentos con mejor calidad nutrimental, atacando los puntos negativos o desventajosos de los totopos.

Los productores de botanas son empresas grandes, medianas y pequeñas; algunos cuentan con marca comercial, otros maquilan para empresas más grandes, etc. Dentro del negocio existen decenas de fabricantes prácticamente caseros, que producen de manera irregular según el costo por temporada de la materia prima; sus productos generalmente son comercializados por ellos mismos. Y por supuesto están los grandes productores de botanas, que abarcan poco más del 80 % del mercado mexicano.

Los niños y jóvenes presentan una preferencia evidente hacia las botanas. Esto puede ser debido a que el fenómeno publicitario constituye uno de los pasos que condicionan el cierre del proceso producción-consumo. En estas etapas de la vida, la cantidad y calidad nutricional de la proteína son particularmente importantes debido a su esencial función en el desarrollo físico y mental (Almeida-Domínguez *et al.*, 1990).

El próspero desarrollo de una nueva botana depende extensamente en el uso de nuevas formas y sabores aceptables; la variedad de botanas es limitada y el mercado esta abierto para nuevas ideas e innovaciones. Los procesos pueden usar tecnología de extrusión para añadir cualquier peculiaridad a una categoría de un producto existente o para nuevas formulaciones. Una amplia variedad de productos de botanas pueden ser producidos por un simple cambio en el sabor y tal vez en la forma de la figura sin cambiar la formulación y las condiciones del proceso (Prinyawiwatkul *et al.*, 1993).

2.1.2. Definición y clasificación

Las botanas se conceptualizan como una comida ligera, que se consume entre las comidas regulares (Primer término acuñado, 1757) La terminación aplica desde una sobra de comida de casa o restaurante, totopos de maíz, sopas instantáneas, hasta un tazón de cereal, una barra de cereal, galletas y leche, etc. Es bastante notorio que el número de las botanas o *snacks* que son consumidos durante el día se ha incrementado en las últimas décadas y se incrementará aun más en el futuro a corto plazo (Cees de Graaf, 2006).

Río (1989) clasificó en 7 grupos los productos tipo botana de acuerdo al proceso al que eran sometidos, en la tabla No. 5 se presenta dicha clasificación:

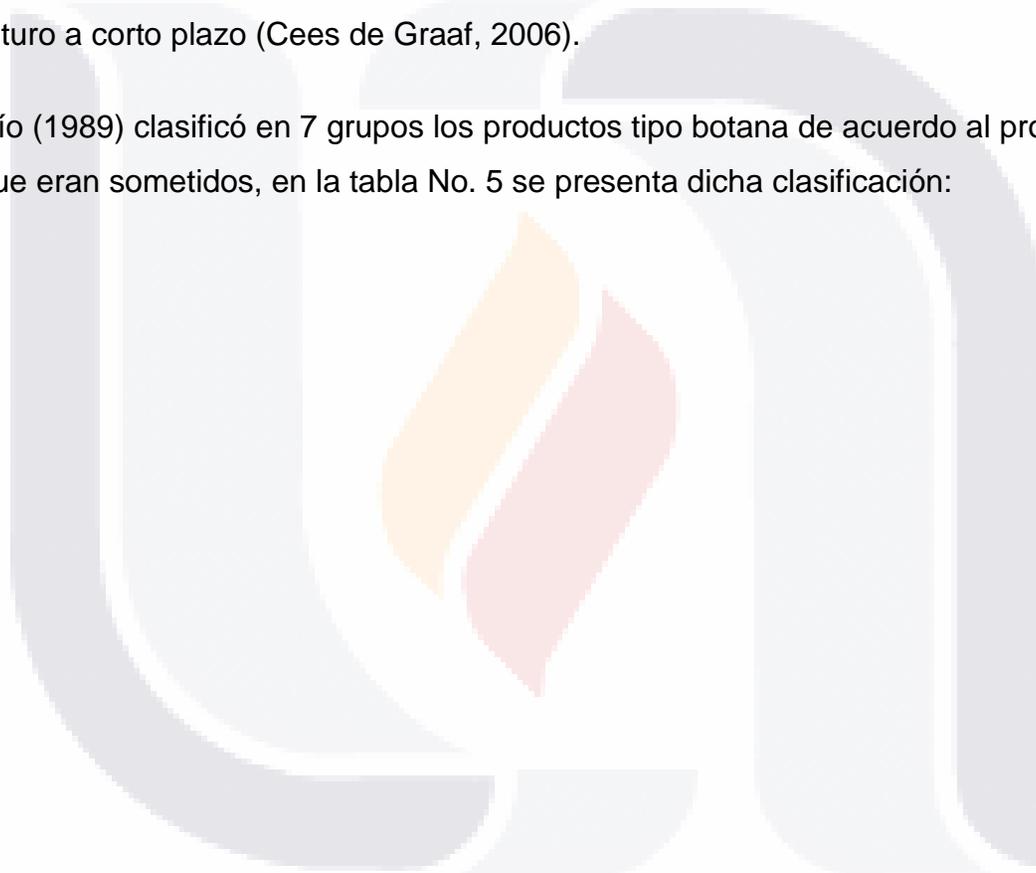


Tabla No. 6. Clasificación de botanas de acuerdo a su proceso.

PROCESO	BOTANAS
Frituras	Papas fritas
	Zanahoria frita
	Plátano frito
	Derivados de papa
	Chicharrón de cerdo
	Frituras de harina
Extruidos	<i>Pellets</i> de harina
	<i>Corn-chips</i>
	Extruidos de masa: <i>corn-sticks</i>
	<i>Collets</i>
Troquelados	Botanas de tortilla
Recubiertos	Extruidos compuestos
	Cacahuates recubiertos
Explotados	Palomitas de maíz
Tostados	Cacahuates
	Habas
	Almendras
	Semillas de calabaza
	Semillas de girasol
	Garbanzos
Horneados	<i>Pretzels</i>

Ríos (1989)

Los totopos de maíz se ubican en los productos troquelados y que denominó botadas de tortilla, el troquelado consiste en hacer una lámina uniforme y delgada por medio de dos placas o dos rodillos, después por medio de un cortador si era

necesario o por el moldeo previo de una porción de masa marcar piezas triangulares, circulares, entre otras.

2.2. BOTANAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO

2.2.1. Antecedentes

Se puede pensar que el antecedente de las botanas de maíz fue la tortilla, diminutivo de torta (“pan de maíz”, según las crónicas de Sahún y Díaz del Castillo) que puede ser definida como un disco de masa con un diámetro de entre 160 y 250 mm y un grosor de 1 a 2 mm la cual es cocida en un comal a temperaturas de 280 y 300 °C durante 90 y 120 segundos. (Figueroa, *et al.*, 2000). Entonces a partir de esta pieza cocida se empezó a “orear” y freír lo cual cambia sus características organolépticas además de dar pie a la creación de un sin fin de platillos.

2.2.2. Definición

Los alimentos tipo totopos de maíz se definen como productos elaborados a partir de maíz nixtamalizado y molido o bien harinas de maíz nixtamalizado (HMN) los cuales son formados, cocidos, parcialmente secados y fritos (Lusas, 2001).

2.2.3. Proceso de elaboración de totopos de maíz a partir de HMN

Después de seleccionar nuestras harinas, basándonos en el producto y las características del mismo, algunas formulaciones pueden emplear más de un tipo de harina, las cuales presentan diferencias como: la granulometría, la presencia de aditivos de conservación, nutrientes, etc. La combinación de la humedad y el tamaño de partícula de la masa con la temperatura y el tiempo de residencia en el horno deben optimizarse para productos específicos (Almeida- Dominguez *et al.*, 1996).

También se determina la cantidad de agua necesaria para hidratar las harinas, de igual forma las características del producto final establecen los porcentajes de agua a adicionar, en el caso de frituras de maíz, se necesita reducir el contenido de humedad desde la masa, pues es a través de los procesos térmicos aplicados que se quiere una reducción de agua hasta alrededor de 2-3 % del producto frito, por lo que a mayor humedad inicial en masa mayor energía será requerida para llegar a esos porcentajes descritos.

2.2.3.1 Rehidratado de harinas y amasado. El rehidratado de harinas consiste en lograr que cada partícula de la harina absorba agua para hidratarse y tomar la consistencia de masa, el agua a adicionar es preferible registre temperaturas de entre 40-50°C, ya que es más fácil absorberla por parte de la harina además de favorecer a la pre-gelatinización del almidón, el amasado aplicado y la consistencia inicial de la masa deben combinarse para producir una masa que se pueda formar con las dimensiones deseadas: grosor, tamaño y forma deseada, e inmediatamente pasen estas piezas, denominadas testales, a la banda transportadora que une la sección de moldeado y cortado con la banda de cocción (comal), con un mínimo de roturas, deformaciones y pérdida de testales.

Es en esta etapa donde se reflejan gran parte de los efectos del cocimiento y molienda previos; desafortunadamente, en caso de observarse efectos indeseables, en muchos casos, es demasiado tarde para corregir las características del nixtamal o la masa (Almeida- Dominguez *et al.*, 1996).

2.2.3.2. Precocido. En el primer paso del horno de la tortilladora, se calienta la pieza de masa y se sella la cara inferior con un mínimo de deshidratación. En el segundo paso la pieza se voltea, continúa el calentamiento y se sella la segunda cara. En este momento es donde vira el proceso de elaboración de tortilla y frituras de maíz (totopos) en el primer caso, el siguiente paso es volver a pasar por un tercer y cuarto comal la pieza, donde se aplica suficiente calor para producir vapor

de agua en la pieza e inflar las tortillas; para la fritura de maíz (totopos) el proceso de precocción termina e inmediatamente pasa a la banda de enfriado.

El precocido tiene diversas funciones: sellamiento de ambos lados de los testales para la solidificación y desarrollo de la textura final de la pieza, precocción de la parte interna del testal, posterior enfriado con la finalidad de que esas piezas no permanezcan calientes y al momento de la recolección se adhieran unas a otras. El contenido de humedad de la masa para totopos debe ser menor que para la tortilla, ya que un alto contenido humedad puede producir vapor que inflaría la pieza ganando humedad residual que podría promover defectos posteriores durante el freído como: mayor absorción de aceite, inflado de piezas y estancamiento de aceite en cavidades formadas por el inflado.

El calentamiento del agua durante el horneado causa gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas que interaccionan con fibra y grasa creando una estructura que al deshidratarse es responsable de la textura de la tortilla. Las características físicas y químicas de la masa deben ser adecuadas para crear esta estructura durante el horneado. En el caso de los productos fritos, es la gelatinización la que juega un rol importante en la crujencia y textura de los productos terminados (Xue *et al.*, 2007)

Al salir el totopo del comal, es llevado por medio de un transportador que permite que haya circulación de aire sobre el producto, consiguiendo con ello equilibrar las humedades del centro y de la superficie, con lo cual evita que exista un mayor grado de humedad en el centro que ocasionará ampollas cuando se fría.

2.2.3.3. Deshidratado. El deshidratado consiste en la eliminación de la mayor cantidad de agua del producto, la razón principal es porque el agua residual será intercambiada por aceite durante el freído, es decir, a mayor cantidad de agua mayor cantidad de aceite absorbido.

El deshidratado tiene la función de secar parcialmente la tortilla o totopo, impartir una apariencia ligeramente tostada y desarrollar la textura final de la tortilla. La combinación de la humedad y el tamaño de partícula de la masa con la temperatura y tiempo de residencia en el horno deben optimizarse para productos específicos (Almeida-Dominguez, 1996).

Tradicionalmente se inicio usando el deshidratado solar (DS) que consiste en “tender” las piezas precocidas en marcos, durante 30 a 45 minutos para que el sol se encargue de deshidratar muy lentamente el producto, es un proceso artesanal y tiene la ventaja de usar la energía solar y no gastar en insumos para el deshidratado, pero depende de muchos factores climáticos y es variable en las estaciones del año.

Para la elaboración de productos fritos (totopos), con textura crujiente color claro y baja absorción de aceite, las características del nixtamal y la masa deben combinarse con diversos tratamientos térmicos: precocción y deshidratado, para producir piezas con relativamente bajo contenido de humedad de 30-40% sin inflarse y que permitan una distribución homogénea del agua en la pieza durante el reposo previo al freído (Véles, 2004).

Los alimentos deshidratados siempre han sido utilizados para consumo directo en épocas de escasez, sin embargo actualmente están siendo muy utilizados para la formulación de otros tipos de alimentos, ya sea como ingredientes de alimentos funcionales, bocadillos, productos lácteos, desayunos integrales, barras de cereales o como parte de alimentos con componentes prebióticos o probióticos. (Marin *et al.*, 2006).

2.2.3.4. Freído. Consiste en la inmersión en aceite de las piezas deshidratadas, a temperaturas de entre 185-190 °C, el tiempo de inmersión es variable pues a

mayor cantidad de humedad presente en el alimento, más tiempo será necesario para lograr la evaporación de agua, la formación de una estructura rígida y el desarrollo del color deseado.

Durante el freído se deshidratan rápidamente las piezas hasta un contenido de humedad del 1.5-2.5% con el desarrollo de la textura, la apariencia y el sabor del producto final. El recubrimiento de sal y otros saborizantes confieren el sabor final al producto. La temperatura del aceite, el tiempo de freído, la calidad del aceite y la alimentación uniforme del producto a la freidora son factores de control. Se desea una combinación de parámetros que produzcan una evaporación rápida del agua a través de la formación de poros en las piezas sin formar exceso de burbujas grandes en la superficie.

La estructura de la pieza frita es rígida y porosa. El aceite penetra a las piezas a través de los poros. Las burbujas de la superficie tienden a llenarse de aceite aumentando el contenido de aceite de los productos fritos (Almeida-Dominguez, 1996). En los primeros 15 segundos del freído se tiene el mayor rango de pérdida de humedad y absorción de aceite y continua constante como el freído prosigue; se incrementa la velocidad de pérdida de humedad como la temperatura se incrementa. (Moreira *et al.*, 1995)

Los totopos contienen de 21-34 % de aceite, y este contenido varia dependiendo del tipo de grano, el proceso de cocción, la granulometría de la harina o masa, tiempo de deshidratado, y otros (Lee, 1991). Durante el freído los el 20 % es absorbido por el totopo y el 80% permanece en la superficie de éste, ya durante el enfriamiento 64% se absorbe por el totopo y el otro 34 % permanece en la superficie del totopo (Kawas, 2001). La apariencia opaca y aceitosa es indeseable. Totopos demasiado duros para romper (morder) o muy quebradizos son indeseables.

El freído por inmersión es muy popular y es ampliamente usado en industrias y hogares. Muchos son los factores que son conocidos que afectan la absorción de aceite. Incluidos la gravedad específica o el contenido de humedad y superficie del alimento en contacto con el medio de freído (Adambounou & Castaigne, 1981; Greenfield *et al.*, 1984; Gamble & Rice, 1987; Makinson *et al.*, 1987; Varela *et al.*, 1988) tiempo de freído (Pravisianni & Calvelo, 1986) temperatura de freído (Varela, 1977; Van Zeddemann, 1981), número de ciclos de freídos (Varela *et al.*, 1988) ingredientes en los alimentos (sólidos, humedad, grasa y proteína) porosidad y tratamientos previos al freído (secado, blanqueado).

El contenido de aceite en alimentos fritos se ha relacionado con el contenido inicial de humedad (Moreira *et al.*, 1997); el tratamiento previo al freído (Gamble y Rice, 1987); cambios estructurales durante el cocido (Rock-Dubley, 1993) y el tiempo de enfriamiento (Sun y Moreira, 1997) (Thoufeek, 1995). De la misma manera el contenido de aceite es también influenciado por el contenido de proteína, fibra y grasa y son factores que influyen en la absorción de aceite durante el freído de productos de maíz nixtamalizado y soya (Thoufeek, 1995).

La reducción del contenido de aceite en los alimentos fritos ha sido un área de interés de investigadores ya que no es esencial para la calidad del producto y es desventajoso para el alimento y el procesador (alto costo de operación) y el consumidor (valor nutricional) (Ahamed, *et al.*, 1996).

En la figura No. 9 se presenta el proceso tradicional para la elaboración de totopo de maíz a partir de HMN:

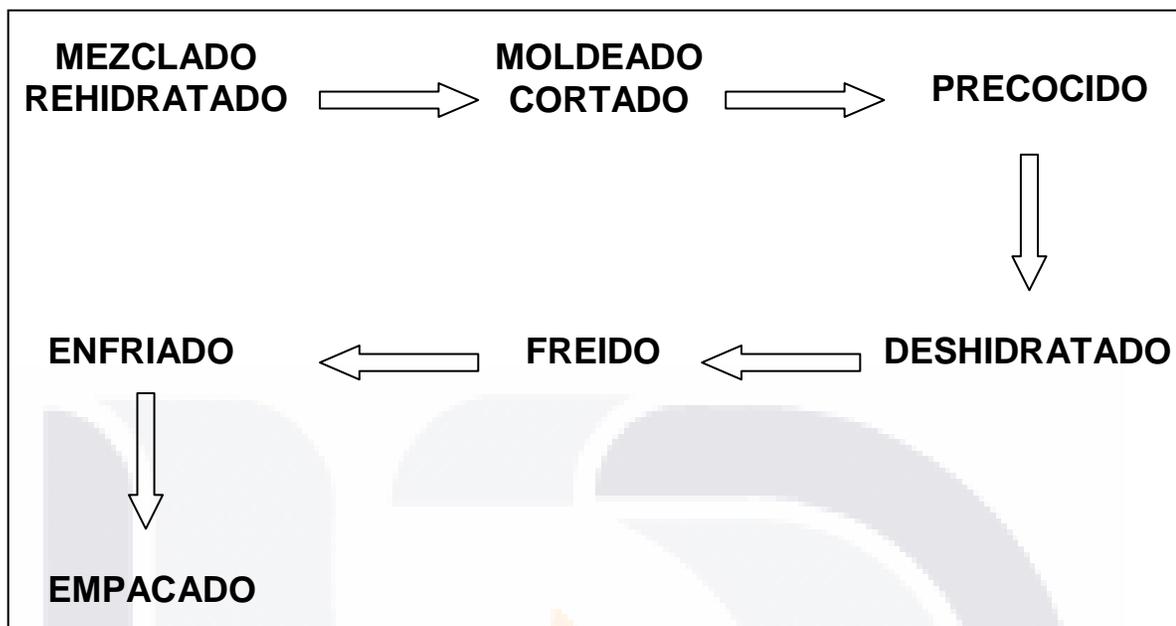


Figura No. 9. Diagrama de flujo del proceso tradicional de elaboración de totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado.

Algunas características de los totopos según Lusas (2001):

1. Seguros, y libres de químicos potencialmente peligrosos, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos.
2. Típicamente preparado comercialmente in grandes cantidades mediante procesos continuos.
3. Sazonado, usualmente con sal, y frecuentemente adicionado de sabores.
4. Estabilidad en anaquel, no requiere refrigeración para su conservación.
5. Empacados listos para el consumo, típicamente divididos en piezas pequeñas, de fácil manejo con los dedos, y pueden tener apariencia aceitosa o seca dependiendo en las expectativas del cliente para el producto en específico.
6. Vendido al cliente en condiciones frescas, frecuentemente logrado por las siguientes medidas:
 - Empleando materiales de empaado que excluyen del interior la humedad, el oxígeno y son ligeros, para proteger la crujencia del

producto, la oxidación natural de grasas y remoción adicional de catálisis oxidación respectivamente.

- ☑ Algunas veces empleando un empaque de atmósferas inertes (nitrógeno) y/o sistemas antioxidantes probados para una protección de grasas adicional.
- ☑ Empaques de códigos de fechas y remoción de estos de los anaqueles si no son vendidos a tiempo.

2.2.4. Atributos de calidad de productos fritos

Los atributos de calidad de totopos (“tortilla chips”) que son altamente apreciados en el mercado incluyen: a) libres de exceso de aceite, b) color claro y brillante característico, c) piezas delgadas, d) sin exceso de burbujas, e) crujientes, f) libres de olor a rancidez.

Las características de textura en los alimentos depende de diferentes propiedades físicas y fisicoquímicas del producto, pero también del único y complejo sistema sensorial humano (Moskowitz, 1987). Los métodos instrumentales tienen la ventaja de proveer medidas repetitivas y reducir los problemas derivados de trabajar con personas. Sin embargo, es importante relacionar medidas instrumentales seleccionadas a características sensoriales específicas del producto (Stone y Sidel, 1993). La apariencia opaca y aceitosa es indeseable. Totopos demasiado duros para romper (morder) o muy quebradizos son indeseables.

Las características de funcionalidad se complementan unas con otras para obtener los efectos deseados en la producción de alimentos; siendo la lubricación, la función de mayor importancia que siempre acompañará a cualquier otra función, impartiendo las características agradables de sensación organoléptica de textura y definición del producto al consumirse.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Es conveniente que las grasas usadas para freído tengan las siguientes características: altos puntos de humeo, que no produzcan humos desagradables bajo condiciones normales de freído, que tengan larga vida, que produzcan alimento con superficies poco grasosas (que tengan poca absorción de grasa), que no impartan sabores extraños al alimento frito, que sean digeribles, que no produzcan gomas en forma excesiva dentro del freidor y que sean resistentes a la rancidez (Nieto, 1987).

Uno de los factores críticos relacionados con la preservación de la tortilla es la textura.. La textura en tortilla ha sido estudiada por varios investigadores, sin embargo, las propiedades más importantes de los botanas pueden variar con respecto a las de tortilla. Hardacre (2006) realizó perfiles de textura en botanas de maíz, midiendo plasticidad, elasticidad y la resistencia hasta la fractura del material.

El aumento de la preferencia por productos bajos en grasa aunado al crecimiento continuo en las ventas de totopos horneados pone un desafío adicional a los procesadores de productos de maíz nixtamalizado. Totopos bajos en grasa y con las características sensoriales de los totopos fritos es el sueño dorado de la industria de las botanas (“snacks”). Combinaciones de varios tipos de calentamiento por radiación y convección y formulaciones con aditivos están siendo empleados comercialmente para la manufactura de estos productos.

2.3. TENDENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE BOTANAS

En las últimas décadas la población a nivel mundial ha cambiado de forma drástica los hábitos alimenticios, debido a múltiples factores laborales, sociales, económicos, etc. esto aunado al desarrollo y mejoramiento de alimentos por parte de la investigación y la industria han permitido disponer de alimentos fáciles de

prepararse, listos para consumirse, con mejores características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales para el consumidor.

No obstante, frecuentemente se presenta deficiencia proteico calórico y en algunos nutrimentos inorgánicos como el hierro. Los requerimientos de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) en la población mexicana no se cubren en su totalidad, esto debido a que no se consumen las cantidades necesarias tanto de maíz como de alimentos complementarios.

La fortificación de alimentos es el mejoramiento nutritivo de alimentos ampliamente consumidos por medio del agregado de nutrientes, tales como vitaminas, minerales y aminoácidos (u otros suplementos proteicos) según Lachance (1972). La justificación de la fortificación en este caso reside en u potencial para beneficiar, en el menor tiempo, a la mayor parte de la población que padece desnutrición por medio del mejoramiento de la calidad, de los alimentos que componen la mayor parte de la dieta popular (Figuroa, 2000). Los hombres de las zonas pobres consumen aproximadamente 600 g de maíz y las mujeres embarazadas y lactantes 400 g.

Si se compara el consumo de maíz en las zonas de desnutrición, se encuentra que a mayor desnutrición, mayor es el consumo de maíz pér capita (Chávez *et al.*, 1983)

La tortilla es un excelente vehículo para el incremento de la calidad nutrimental de la población porque es el producto más consumido por la población mexicana a todos los niveles socioeconómicos (Figuroa, 2003).

Varios proyectos de investigación han llevado acabo intentos para mejorar la calidad nutricional de las tortillas, incluyendo enriquecimiento con frijol de soya y garbanzo (massieu *et al.*, 1954), suplementos de aminoácidos básico (Bressani,

1972), adición de harinas concentradas de proteína de soya (Green *et al.*, 1977), Serna-Saldivar *et al.*, 1988, Rooney, 2000), o suplementos de vitaminas y minerales (Figuroa, 1999, Rosado *et al.*, 1999).

En algunos casos, se han logrado importantes avances, entre ellos el sabor, aroma y color han sido cambiados o la vida de anaquel de los productos ha disminuido ampliamente (Del Valle & Pérez-Villaseñor, 1974; Green *et al.*, 1977; Collins & Sánchez, 1980) Por otro lado, todos los suplementos nutricionales son muy costosos, y su inclusión en las tortillas disminuye el éxito de alcanzar la mayor parte de los grupos con bajos ingresos económicos.

Estudios previos han mostrado que el mejoramiento del *protein efficiency ratio* (PER) es alcanzado con la adición de 4-6 % de soya en la forma de grano entero, harina de soya (50 %), concentrado de proteína de soya o aislado de proteína de soya (Bressani *et al.*, 1974, 1978; Obatolu *et al.*, 2006).

Obatolu *et al.* (2007) en una investigación fue el mejorar y diversificar la situación nutricional de la población en comunidades Ruales de Nigeria desarrollando una tortilla casera cocida y frita de maíz y soya. El alto contenido mineral observado en tortillas fortificadas podría ser debido a la soya, los incrementos de los minerales fueron: P, 1.1gkg⁻¹; K, 4.8 gkg⁻¹; Ca, 1.2 gkg⁻¹; Zn, 12 gkg⁻¹. Determinaron que el freído mejoró significativamente la aceptación general de la tortilla sobre la tortilla cocida.

2.3.1. Ingredientes incorporados en la elaboración de productos de maíz nixtamalizado

La sustitución de harinas no convencionales (HNC) en el proceso de elaboración de producto de maíz nixtamalizados viene a enriquecer el valor nutrimental de los mismos, y ha sido estudiado en tortilla ampliamente (Figuroa, 2000; Rooney, 1999; Collins, 1980; Green, 1977; Del Valle, 1974, 1976). Las HNC son todas

aquellas que no forman parte de la materia prima empleada para la elaboración del producto ordinario, y son incorporadas por motivos nutrimentales, tecnológicos, de reducción de costos, incremento de rendimientos, etc.

2.3.1.1. Harina de Nopal (*Oportia ssp*). Los aztecas llamaban al nopal “nochtli” o “nopalli”. Es una arbustiva que forma parte de la familia de las cactáceas, que conforman alrededor de 1600 especies en 122 géneros. El nombre cactus se deriva del griego *kaktos*, género descrito por Carlos Linneo. Los frutos del nopal son comestibles y se conocen como tunas y el famoso xoconostle (xoco-agrio). De México se llevó a España, Portugal, Italia, Argelia, Marruecos, Túnez, Grecia, Israel, Australia, Sudáfrica, Brasil, Argentina, Colombia y Estados Unidos.

En México el nopal es una fuente de ingreso para las comunidades rurales en zonas áridas y semiáridas, además de que fomenta el arraigo de los campesinos a sus tierras. Acostumbran consumir las pencas o cladodios jóvenes, las tunas y el xoconostle. Este tiene un sabor agridulce y ácido con menos azúcares y más pectinas que la pitaya. Utilizan además las raíces, flores y pétalos para productos elaborados. El contenido nutricional de esta planta comprende minerales como el calcio, hierro, aluminio y magnesio, sulfatos y fosfato, potasio, sílice, sodio, manganeso, carbohidratos, componentes nitrogenados además de vitaminas A, B1, B2 y C.

El experto Eulogio Pimienta cuenta en su libro *El nopal tunero* que en México se cultivan aproximadamente en México se cultivan 50,000 hectáreas mientras la explotación frutícola silvestre se realiza en tres millones de hectáreas distribuidas en los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango. Existen muchas variedades de las cuales las más comunes son: tapón alfajayucan o reina blanca, amarilla picochulo, amarilla huesona, papantón, pepino, cristalina, pepinillo, calabazona, fafayuco, chapeada, camuesa, pelón charola o pelón liso, pachona, cardona, burrona, chamacuero, duraznillo,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

mantequilla, de castilla, San Gabriel, Atlixco. Estos y otros más son de consumo en los mercados nacional e internacional en los cuales es fundamental la selección del tamaño, la resistencia, el manejo, embalaje y transporte.

En México, las plantaciones comerciales de nopal cubren 10,500 hectáreas con una producción de 600,000 toneladas anuales. Una parte se exporta a Estados Unidos. El nopal-verdura comúnmente conocido como “nopalito”, es la penca tierna que se cosecha comercialmente cuando alcanza una longitud de 15 a 20 cm y pesa aproximadamente cien gramos. La cosecha se realiza manualmente cortando con un cuchillo la penca en la base.

En México la ingesta anual *per cápita* es de 6.4 kilos de nopal. El nopal se utiliza principalmente como forraje, pero igualmente se comercializan las pencas tiernas para venderse como verdura. Las pencas tiernas del nopal se preparan en escabeche, salmuera y encurtidos; se cocinan caldos, cremas, sopas, ensaladas, guisados, o en empanadas, huevos, platos fuertes, salsas, “antojitos”, bebidas y postres, sopa de frijol con nopales, mole de olla, chalupas con nopales, chile poblano relleno de nopal con queso, tortillas con nopal, entre otros.

La harina de nopal (HN) también viene a modificar el valor nutrimental del producto por su alto aporte en fibra. El rol benéfico de la fibra dietaria y otras fuentes ricas en fibra insoluble han sido demostradas por varios investigadores (Hoedge et al., 2004; Chau et al., 2004); esto al parecer debido principalmente a la alta viscosidad, las fibras pueden inhibir o disminuir la digestión del almidón mediante el retraso de la absorción y difusión de la glucosa a través del tubo digestivo (Wolf et al., 2001; Ruiz-Roso, 2002). La presencia de HN en tortilla no es nuevo, y han aparecido diversas marcas en el mercado, en donde el contenido de fibra se incrementa y la reducción de calorías es notoria con respecto a la tradicional.

La adición de más del 20 % de HN podría afectar la textura y alterar negativamente la aceptación de los consumidores. Otra propiedad alterada es la reología, aparentemente la temperatura de rehidratación de la HN de entre 75-80 °C afecta el contenido y viscosidad del mucílago disminuyendo su efecto (Sáenz, 1997).

Sáenz *et al* 1997, observaron un 42.2 % de fibra dietaria en harina de nopal de la cual 28.45 % era fibra insoluble y 14.54 % soluble, es decir una relación 2:1 de fibra insoluble contra la soluble. Rosado y Díaz (1987) reportaron un 50.4 % en harina de nopal deshidratado.

Así mismo se han realizado estudios con nopal en fresco, triturado y en jugo demostrándose que tiene un potente efecto hipoglucémico, ya que pueden retener glucosa y puede retardar el efecto de difusión de la misma en el cuerpo. De igual forma Garibay y San Martín (2006) mostraron que fracciones ricas en fibra insoluble de nopal tienen la capacidad de retención de la glucosa, señalando que este efecto es más eficiente si se consume como parte de la dieta.

La fibra dietaria incrementa el valor nutricional del pan pero al mismo tiempo altera las propiedades reológicas de la masa y finalmente la calidad y propiedades sensoriales en el pan (De Escalada *et al.*, 2005); aunque algunos autores han reportar que bajas concentraciones de fibra dietaria, dependiendo de su origen, pueden a su vez determinar un efecto beneficioso desde el punto de vista del proceso de panificación y la calidad del pan.

Por lo tanto, el alto contenido de fibra dietaria de HN, hace al nopal un ingrediente atractivo en la incorporación de fibra a otros alimentos y sobre todo a la dieta. También es posible usar la HN como una alternativa para sustituir la fibra de otras fuentes vegetales (Sáenz, 1997).

2.3.1.2. Harina de soya desgrasada (*Glycine max*). La soya ha sido cultivada por más de dos mil años y es una de las fuentes de proteína más importante para los habitantes de China y Japón. Originaria de China, y su nombre (soy) viene del Japón; se comercializa en todo el mundo.

La soja o soya (*Glycine max*) es una planta de la familia de las leguminosas fabáceas que produce de 2 a 3 frijoles por vaina. Las semillas (frijoles) presentan una forma ovalada y su color va desde el amarillo al negro.

El frijol de soya contiene 38% de proteína, más que cualquier otro alimento de origen animal o vegetal no procesado, además de 30% de carbohidratos, 18% de aceite y 14% de humedad, además de ser buenas fuentes de fibra, vitaminas del complejo B, calcio y ácidos grasos omega-3, todos ellos importantes suplementos de la dieta.

La soja es utilizada por su aporte proteico también como alimento para animales, en forma de harina de soya, área en la que compite internacionalmente con la harina de pescado. Es usada para una infinidad de productos que pueden reemplazar a otros de origen animal.

Aunque la soja se ha utilizado para consumo humano desde hace siglos en las culturas asiáticas, su introducción en occidente es muy reciente y a pesar que para muchas personas, los alimentos derivados de soya son nuevos y diferentes, actualmente se están consumiendo de manera significativa. Un ejemplo es el consumo de aceite de soya.

Los productos de soya pueden ser buenos sustitutos de los alimentos animales, debido a que, a diferencia de otros frijoles, la soya ofrece un perfil "completo" de aminoácidos. La soya contiene todos los aminoácidos esenciales para la nutrición humana, que deben ser adicionados a la dieta debido a que no son sintetizados por el organismo. La soya puede sustituir los alimentos de origen animal que

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

también poseen proteínas completas pero tienden a contener mayor concentración de grasas y a tener un precio bastante elevado comparado con la soya. Desde el punto de vista orgánico, la cantidad de proteína utilizable contenida en ½ taza de soya es igual a la de 142 gramos de carne.

La sustitución de harina de soya desgrasada (HSD) en tortillas ha reportado un mejor comportamiento funcional que los concentrados y aislados de soya adicionados a niveles iguales de proteína (Rooney, 1999), otras de las ventajas de la incorporación de HSD se ha debido principalmente a su bajo costo, alto contenido de proteínas y el efecto complementario a las proteínas del maíz, lo cual eleva significativamente la calidad proteica de alimento.

Adicionalmente la soya ha sido estudiada ampliamente y se le ha reconocido con un potente rol en la protección de cáncer (Herman, 1995; Xu, 2000); la reducción del riesgo de desarrollar cáncer mamario y de próstata (Herman, 1995; Lamartiniere, 1995,1998; Sarkar, 2002) y un efecto hipocolesterolemico (Rosell, 2004; Tovar, 2002; Baum, 1998 Sitori, 1995)

Rooney (1999) trabajó con soya en diferentes formas: harina de soya natural, harina de soya tostada, harina de soya desgrasada y concentrado de soya. La harina de soya desgrasada natural, adicionada al maíz, reportó un mejor comportamiento funcional en las tortillas de maíz, que la harina de soya desgrasada tostada, el concentrado de soya y los aislados de soya, adicionados al maíz a niveles iguales de proteína. Las tortillas que contenían 5°% de harina de soya desgrasada natural aumentaron la absorción de humedad de la masa y, en general, produjeron tortillas con un mayor contenido de humedad. La harina de soya desgrasada natural aumentó la suavidad y doblez de la tortilla durante su almacenamiento. También originó significativamente más manchas cafés ampollas sobre la superficie de la misma. La reducción en la temperatura del horno disminuyó las manchas cafés y produjo tortillas con mayor contenido de

humedad. La combinación de 0.5%, de arboxi-metil-celulosa (CMC)- hidrocoloide comercial usado en fabricación de tortillas para darles flexibilidad y aumentar retención de humedad y 5% de harina de soya desgrasada natural, produjo tortillas que permanecieron suaves y flexibles durante su almacenaje, a 23°C y 4°C. La textura de tortillas rancias recalentadas mejoró con la adición de harina de soya desgrasada natural y el 0.5% de CMC. El uso de harina de soya desgrasada natural puede transmitir a las tortillas propiedades funcionales útiles, junto con la obvia mejora nutricional. Un panel informal de degustación encontró aceptables el sabor y la textura de las tortillas de maíz.

En Octubre de 1999, la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos en Estados Unidos) autorizó el uso la leyenda "Dietas bajas en grasas saturadas y colesterol que incluyan 25 g de proteína de soya pueden reducir los riesgos de enfermedades cardiacas".

2.3.2. Nuevos tratamientos incorporados en la elaboración de productos de maíz nixtamalizado

Anteriormente el deshidratado de alimentos se comenzó haciendo artesanalmente con la exposición solar, pero tiene varios inconvenientes como un proceso lento (de 30 a 45 minutos), sujeto a las condiciones ambientales (variabilidad en intensidad de sol durante todo el año, la presencia de nublado o lluvias), posibilidad de contaminación debido a roedores o pájaros, presencia de viento y polvo.

Hoy en día uno de los nuevos procesos implementados y desarrollados para sustituir el deshidratado solar (DS) es el deshidratado por ondas de rayos infrarrojo (DIR). Recientemente, pretratamientos con campos de pulsos eléctricos, ultrasonidos e infrarrojo en combinación con secado convectivo permiten una mejor permeabilización de las membranas celulares, menos cambios estructurales (Marin *et al.*, 2006).

Durante la etapa de cocción o deshidratado de productos de tortilla de maíz, es esencial un rápido calentamiento de ambas superficies para mantener un adecuado y balanceado nivel de humedad en el interior de la tortilla. Por lo tanto, la radiación IR debe ser transmitida perpendicularmente a las dos superficies de la pieza a deshidratar, que se logra mediante la utilización de un emisor de infrarrojos de configuración. Un arreglo lineal de emisores de infrarrojos que tengan las dimensiones adecuadas para permitir la radiación IR sea transmitida perpendicularmente a ambos lados de la tortilla, y con un patrón de radiación controlada por medio de infrarrojos ópticos reflectores.

La etapa más importante de la radiación IR en el proceso de deshidratado consiste en deshidratar desde las capas internas del producto hasta las externas en ambas caras del producto alcanzando la temperatura de evaporación del agua.

Una característica importante a ser considerada en la deshidratación por radiación infrarrojo es determinar la longitud de onda de banda dentro de los cuales el factor de absorción del producto es relativamente independiente de los cambios en la temperatura, ya que de lo contrario, la absorción de infrarrojos de onda de dicho producto será baja y por lo tanto, el proceso de deshidratado podría ser ineficaz.

Las piezas de totopos precocidos están expuestos a una banda de longitud de onda de radiación IR, colocando en una cinta transportadora continua que pasa entre las IR radiadores. La configuración de los aparatos de cocción deberá ser tal que la radiación IR tendrá una distribución homogénea a lo largo del producto y de tal forma que la distribución sea adecuada para la forma fina y la geometría de la tortilla, a fin de que los mismos pueden ser cocidas uniformemente.

En la figura No. 10 se esquematiza el proceso de elaboración alternativo para totopos de HMN:

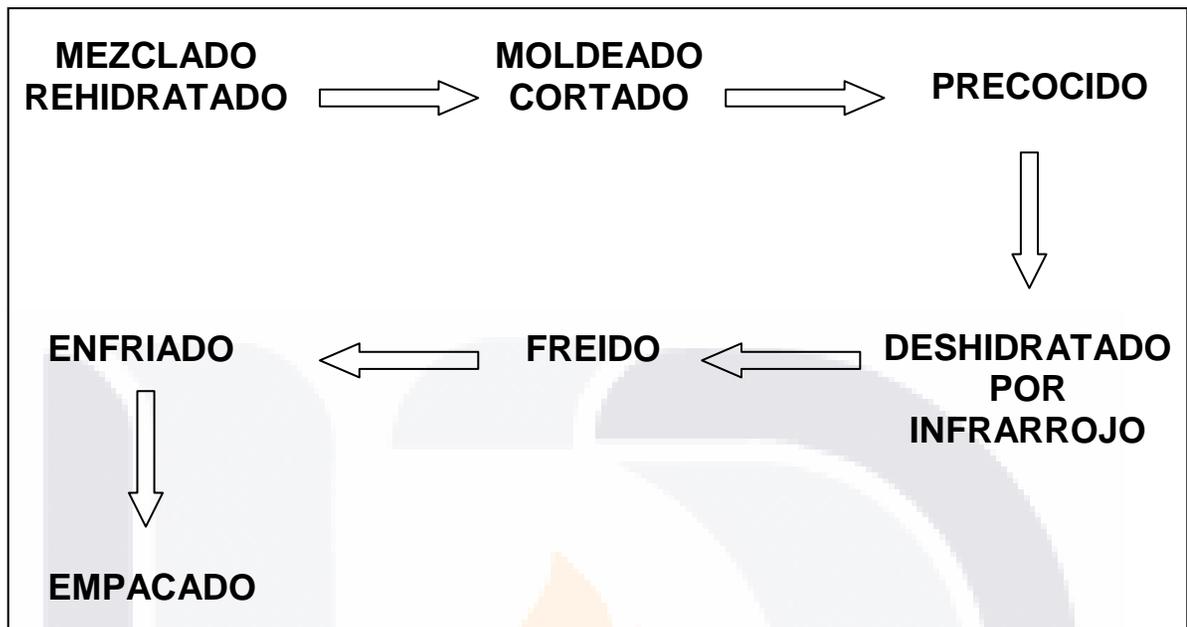


Figura No.10. Diagrama de flujo del proceso alternativo de elaboración de totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado.

3. HIPOTESIS

La implementación de harinas no convencionales en el proceso de fabricación de totopos de maíz nixtamalizado influyen en las características químicas, fisicoquímicas, térmicas, reológicas, tecnológicas, estructurales y mecánicas, de los productos intermedios y finales desarrollados durante el proceso tradicional y alternativo.



4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollo de un totopo de harina de maíz nixtamalizado a partir de la sustitución parcial con harinas no convencionales: harina de nopal y harina de soya desgrasada; evaluando: el impacto de la sustitución en las propiedades químicas, fisicoquímicas, térmicas, reológicas, tecnológicas, estructurales y mecánicas.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1. Caracterizar las propiedades químicas, fisicoquímicas y térmicas de la harina de maíz nixtamalizado, harina de nopal y harina de soya desgrasada.

4.2.2. Mejorar el contenido y calidad nutrimental de los totopos de HMN por medio de la modificación de tres componentes: incremento de fibra, incremento de proteína y reducción de grasa en el producto terminado.

4.2.3. Evaluar y comparar las propiedades fisicoquímicas, reológicas y tecnológicas influenciadas por la sustitución con harinas no convencionales en productos intermedios (masas, producto precocido y deshidratado).

4.2.4. Observar el comportamiento que tiene el deshidratado tradicional en el proceso de totopos vs. el deshidratado por medio de radiación IR.

4.2.5. Evaluar las propiedades químicas, estructurales y mecánicas del producto terminado en las diferentes formulaciones.

|



5. MATERIALES Y METODOS

5.1. MATERIAS PRIMAS

5.1.1. Harina de maíz nixtamalizado

Se utilizó harina de maíz nixtamalizado especial para la elaboración de frituras que fue proveída por el Grupo Minsa. La formulación base de la F1 (testigo) fue desarrollada por la empresa Antojaditas (2005) y después de realizar diversas pruebas con el cambio de porcentajes de dos tipos de harinas. Consiste en dos tipos diferentes de harina denominadas Taco Shell y Br Fritura desarrolladas por la empresa Minsa y destinadas para la fabricación de frituras de maíz, Taco shell es una harina más gruesa fácilmente detectable al taco, y la Br Fritura es una harina más fina. El porcentaje utilizado fue Taco Shell 40 % y 60% Br Fritura.

5.1.2. Harinas no convencionales

Harina de nopal (Marca Naturama)

Se realizaron evaluaciones fisicoquímicas a 2 diferentes tipos de harina de nopal y a nopal deshidratado molido. La elección de la harina se baso en la granulometría de la misma, el color, olor, textura y la cantidad de mucílago presente. Estos parámetros fueron importantes para la elección basados en la bitácora y la experiencia del manejo de harinas no convencionales por parte de la empresa Antojaditas (2005).

Sáenz (1997) determinó que para el caso de HN, no deben emplearse valores mayores del 20 % de sustitución, ya que afecta la reología, textura y la aceptación por parte de consumidores. No se encontró referencia de la utilización de HN, en el proceso de elaboración de frituras de maíz, por lo que los porcentajes

empleados se realizaron de acuerdo a algunos utilizados en la elaboración de tortillas, cabe mencionar que las características fisicoquímicas, reológicas y tecnológicas son completamente diferentes para estos dos productos.

Harina de soya desgrasada

Los porcentajes elegidos de HSD se realizaron en base a estudios previos del uso de frijol de soya en tortilla de maíz, los cuales incluyeron subproductos como: harina de soya, concentrado de soya y HSD en tortilla (Rooney, 1999; Figueroa *et al.*, 2001), la elección de la HSD fue influida por el objetivo específico 4.2.2. en donde fue prioritario la reducción de aceite en el producto terminado, esto partiendo de no incluir HNC con alto contenido graso.

Con respecto al porcentaje de sustitución, se empleo dentro del rango utilizado y obtenido en otros estudios en tortilla del 2 a 8 % (Rooney *et al.*, 1997; Figueroa *et al.*; 2001) debido a que en porcentajes mayores al 8 %, cambian las características reológicas y tecnológicas que harían muy deficiente su procesamiento, adicionalmente en las propiedades sensoriales se pueden registrar cambios no deseados en el producto final.

5.1.3. Otros ingredientes

Aceite vegetal comestible, que consiste en una mezcla de aceite de soya y/o girasol y/o cartamo, tiene antioxidante para su conservación. Sal yodatada y agua purificada.

5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Para el diseño de las formulaciones se partió de estudios preeliminares realizados con harina de nopal, harina de soya, salvado, linaza, amaranto y harina de trigo (bitácora empresa ANTOJADITAS, 2005).

La sustitución de HN, se realizó en tres porcentajes 5, 10 y 15 %, la decisión de estos porcentajes se llevó a cabo en base a la experiencia con ese ingrediente, y sobre todo por su notoriedad en el producto final como el cambio de color del totopo, además de considerar que probablemente la fibra contenida podría disminuir la absorción de aceite y el contenido final de grasa.

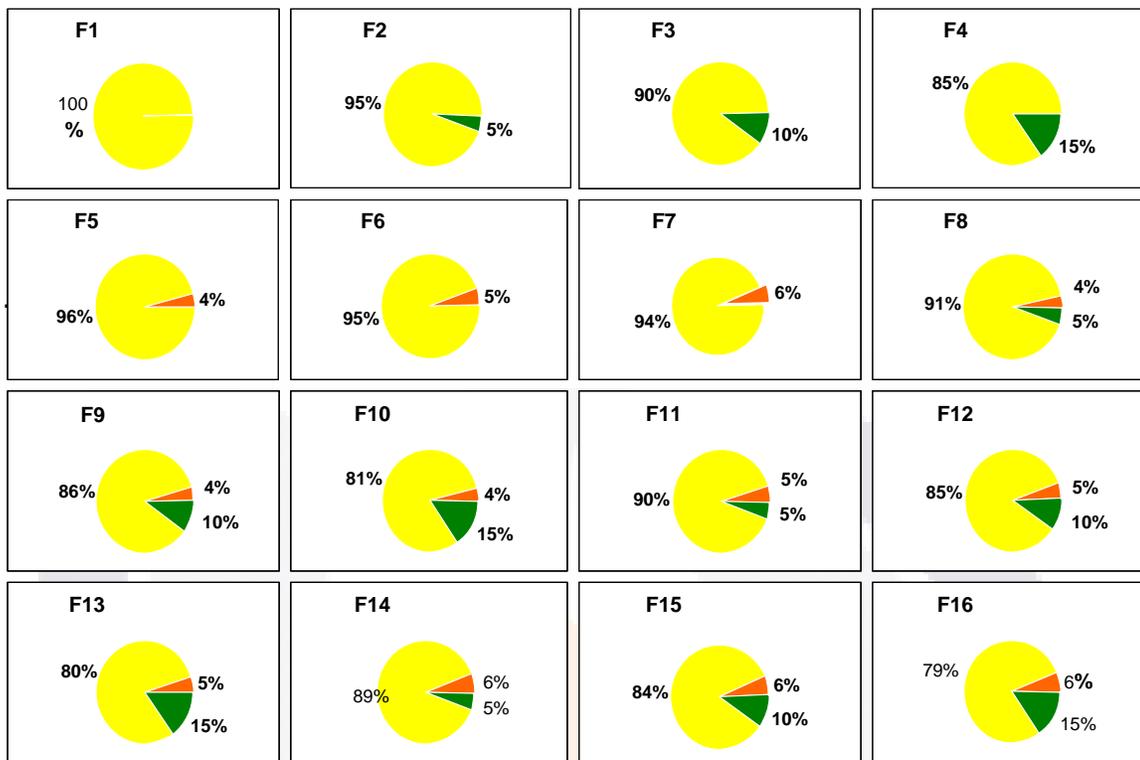
La sustitución con harinas no convencionales se llevo a cabo tal como se describe en la Tabla No.6. Se partió de una formulación base de dos HMN empleada en la elaboración de botanas en la empresa Antojaditas (2005) que se denomino testigo, se realizaron adicionalmente 7 formulaciones mediante la sustitución de harinas no convencionales en el proceso: harina de nopal y harina de soya desgrasada.

Tabla No.7. Diseño experimental de las formulaciones a partir de la sustitución porcentual de harinas no convencionales

F*	HMN*	Harinas No Convencionales	
		HN*	HSD*
1 testigo	100	0	0
2	95	5	0
3	90	10	0
4	85	15	0
5	96	0	4
6	95	0	5
7	94	0	6
8	91	5	4
9	86	10	4
10	81	15	4
11	90	5	5
12	85	10	5
13	80	15	5
14	89	5	6
15	84	10	6
16	79	15	6

*Formulación; HMN (harina de maíz nixtamalizada); HN (harina de nopal); HSD (harina de soya desgrasada)

Seis sustituciones fueron simples, es decir, con solamente un ingrediente en la sustitución, en las cuales los porcentajes de sustitución fueron: para la HN fue del 5 y 10 % y para la HSD fue el 4,5 y 6 %. La formulación restante se realizo de forma combinada como lo muestra la Figura No. 10



■ Harina Maíz Nixtamalizado
 ■ Harina Nopal
 ■ Harina Soya Desgrasada

Figura No. 11. Diseño Experimental de las formulaciones a partir de la sustitución de harinas no convencionales

5.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN

En la Figura No. 12 se describe la metodología empleada para la fabricación del totopo de maíz:

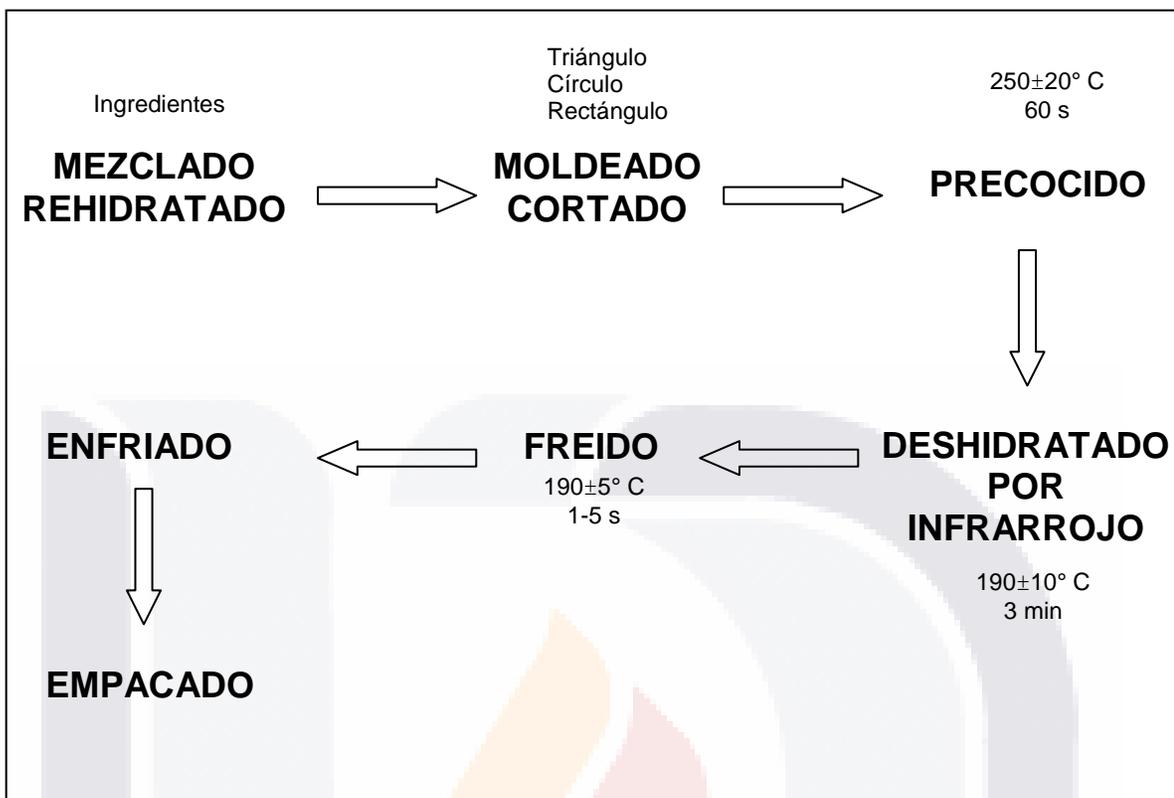


Figura No. 12. Diagrama de flujo del proceso alternativo de totopos de maíz nixtamalizado

5.3.1. Mezclado y rehidratado

El procedimiento de formación de masas se llevó a cabo mezclando los ingredientes secos durante 30 segundos, posteriormente se hidrataron con una solución de cloruro de sodio al 2.5 % a una temperatura entre 40 y 50 °C en una proporción 1:1 y se batió en una batidora *Kitchen Aid Commercial* en la velocidad *stir* por 12 minutos.



Figura No. 13. Rehidratado y mezclado de las formulaciones.

5.3.2. Moldeado, cortado y precocido

Se colocaron porciones de alrededor de 2 kg de masa en los rodillos de manera constante para moldear y cortar los testales (piezas de masa previamente moldeadas, cortadas y crudas) (Tortilladora marca Villamex V-100 de dos comales), a continuación se pasaron a los cómales donde se llevó a cabo la etapa de precocción a una temperatura de 200 °C el tiempo de estancia de los testales (piezas crudas de masa) fue de 30 s en cada uno de los dos comales, es decir, un periodo de precocimiento total de 60 s, y posteriormente se enfriaron los productos mediante la circulación de estos en dos bandas transportadoras con un lapso de 75 s.



Figura No. 14. Moldeado, cortado y precocido.

5.3.3. Deshidratado por Radiación Infrarroja

Las piezas precocidas se colocaron en un horno infrarrojo desarrollado en el CINVESTAV No. de patente Patent US 5,567,459. y Patente mexicana No. 185953; para deshidratar la pieza hasta una humedad del 3-6 %. Un promedio de

200 piezas precocidas se deshidrataron a $190 \pm 10^\circ \text{C}$ durante 3 minutos. Se uso una frecuencia de 12 MHz a un nivel 3 de horneado, que representa la temperatura que alcanzara el horno.

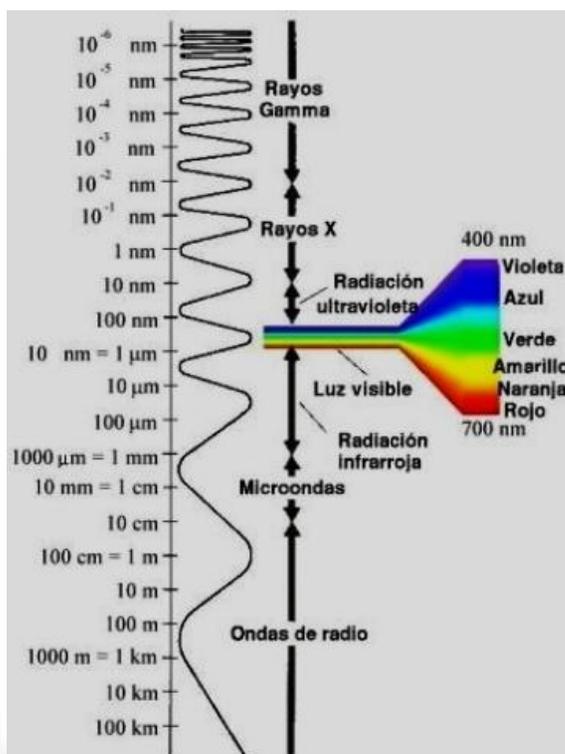


Figura No. 15. Esquema del espectro electromagnético.



Figura No. 16. Deshidratado en horno de radiación IR.

5.3.4. Freído

Finalmente se frieron en aceite vegetal (Bakers & Chef's) a una temperatura de 190 ± 5 °C durante 1-5 segundos. Se enfriaron y se colocaron en bolsas con cierre hermético.



Figura No. 17. Freído de las piezas deshidratadas.

5.4. ANÁLISIS QUÍMICOS

5.4.1. Extracto Etéreo

Se determinó el extracto etéreo reportado como % total de grasa por extracción continua con éter de petróleo siguiendo el método Goldfish (Método AOAC 7.062; Método AACC 30-20) utilizando como solvente éter de petróleo. Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

5.4.2. Proteína

Se determinó mediante el análisis elemental de nitrógeno proteico método AACC 46-30 siguiendo la metodología de Dumas, que se basa en la liberación de nitrógeno por pirolisis y subsiguiente combustión total, utilizando un detector de conductividad térmica. Se utilizaron los factores de conversión según protocolo

para la transformación a proteína. Las determinaciones se realizaron por duplicado en las diferentes muestras.

5.4.3. Fibra

Se llevó a cabo mediante los métodos 32.10 para fibra cruda y 32.06 para fibra dietaria total AACC. Las determinaciones se realizaron por duplicado en las diferentes muestras.

5.4.4. Cenizas

Se determinó mediante la metodología AACC 13.009, primeramente se desecaron las muestras en estufa a 105 °C y posteriormente se carbonizaron y calcinaron en una Mural (Felisa Modelo FE-340) de las muestras a 600 °C hasta peso constante. Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

5.4.5. Humedad

La determinación del contenido en agua de las muestras se realizó siguiendo el método AOAC 14.003 (AOAC, 1980). Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso del producto en una estufa con circulación de aire a 90°C, dejándose hasta peso constante. Se utilizó una estufa (TerLab), y una balanza digital de ± 0.0001 g de precisión (Sartorius, Modelo 2432). Las determinaciones se realizaron por triplicado para masas.

5.4.6. Determinación de carbohidratos

Se determinaron por diferencia.

5.5. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

5.5.1. Distribución del Tamaño de Partícula de harinas

Se realizaron ensayos granulométricos de las tres diferentes harinas. Se colocaron 500 gr de muestra y se mantuvo bajo agitación por 15 minutos. Se pesaron las retenciones en cada tamiz.

5.5.2. Capacidad de absorción de agua (CAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) de harinas

Las determinaciones se llevaron a cabo mediante el protocolo adaptado de Anderson, *et al.*, (1969), se pesaron 3 g de las formulaciones y se mezclaron con 30 ml de agua destilada, posteriormente se calentaron en un baño María a 60°C durante 15 min, al termino se enfrió con agua corriente a temperatura ambiente y el contenido se trasladado a tubos de centrifuga y se procedió a su centrifugación a 3000 g durante 10 min. Se separaron el sedimento y el líquido sobrenadante y se pesaron, Los porcentajes de CAA y ISA se calcularon usando las ecuaciones siguientes:

$$CAA = \frac{\text{peso.del.sedimento}}{\text{Peso.muestra}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$ISA = \frac{\text{Peso.de.los.solidos.disueltos.en.el.sobrenadante}}{\text{Peso.muestra}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes formulaciones de masas.

5.5.3. Actividad de agua

La a_w se midió en un equipo Decagón (Aqua Lab, Modelo CX-3T; ± 0.003) en el intervalo de temperaturas entre 25-30 °C, previa calibración del mismo con patrones de disoluciones molares de KCl, 0.5; NaCl, 60; LiCl, 8.57 y LiCl, 1341 con actividades de agua de 0.984, 0.760, 0.500 y 0.250, respectivamente. Las

muestras se colocaron en el portamuestras y se procedió a su lectura por triplicado para masas.

5.5.4. Propiedades térmicas

Las reacciones fueron ensayadas y analizadas en un equipo Diferencial Scanning Calorimetry DSC Polymer Lab. Se usaron cápsulas selladas para estudiar la influencia de la presión en el perfil térmico de las harinas. Las cantidades de muestras utilizadas fluctuaron entre 10 y 20 mg y la velocidad de calentamiento fue de 10°C/min en ensayos dinámicos con rangos de temperatura entre 50 y 200°C , bajo atmósfera de nitrógeno .El punto de fusión del Indio fue usado como referencia para calibración. Se obtuvieron las temperaturas pico de gelatinización (T_g), temperatura pasting (T_{pa}) y temperatura final (T_f) además de la entalpía (ΔH).

5.5.5. Propiedades de gelatinización

La curva viscoamilográfica se determinó con un equipo Rapid Visco Analyser 3C (Newport Scientific PTY LTD, Sydney, Australia), mediante el método citado por Narvaéz-Gonzalez *et al.*, (2007) se utilizaron 4 ± 0.001 g de harina de maíz instantánea (en base 14% de humedad g de harina). Se cribó con la malla US 60 (250 μ m), los 4 g de harina se suspendieron en 24 mL de agua destilada. Posteriormente se colocó el agitador que transfirió la señal de viscosidad a un graficador computarizado y se colocó el recipiente conteniendo la muestra en el viscosímetro, la mezcla se calentó de 50 a 92 °C por 8.5 min, luego se mantuvo a 92 °C por 5 min y se enfrió a 50 °C por 8.5 min.

5.5.6. Determinación del color

El color de muestras se midió por reflexión con un espectrocolorímetro (Modelo CM-400 Minolta), previa calibración, utilizando como sistema de referencia al iluminante C/observador 2°. A partir del espectro de reflexión de las muestras se

obtuvieron las coordenadas rectangulares CIE-L*a*b*, donde L* es la luminosidad (0, negro; 100, blanco), y a* indica la proporción de componente rojo-verde en el color medido, para valores positivo y negativo respectivamente y, de forma similar, b*, para el componente amarillo-azul. A partir de estas coordenadas se calcularon mediante las ecuaciones 3 y 4, las coordenadas cilíndricas cromáticas (C_{ab}*), que indica la intensidad o saturación del color y tono (h_{ab}*), donde 0° (ó 360°) indica coloraciones rojo-púrpura, 90° amarillas, 180° verdes y 270° azules (Hutchings, 1999).

5.6. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

5.6.1. Tenacidad (P), Trabajo (W) y Consistencia (PrMax) en masas

Las propiedades reológicas de las masas provenientes de las diferentes formulaciones se evaluaron en un Alveografo -Consistografo (Chopin S. A.) que esta constituido por una amasadora, un alveografo -consistografo y un registrador-calculador (Alveolink NG). Las determinaciones se realizaron por decena en las diferentes masas para alveografía con rehidratación y temperatura constante y en duplicado para consistencia.

Tenacidad y Trabajo de deformación. En este ensayo (Figura No. 18) se preparó una masa de harina, agua y cloruro de sodio, con la que se obtienen cinco piezas (amasijos) en forma de disco, y se mantienen con rehidratación y a temperatura constante mientras se realiza el ensayo. A continuación se le insufló aire formando una burbuja con cada una de las piezas y se registra la presión en su interior. La curva graficada está relacionada con la resistencia de la masa a la deformación (AACC, 1987). Los parámetros evaluados fueron: resistencia a la deformación o tenacidad P (mm) y trabajo realizado para deformar la masa W (10E⁻⁴ J) que es equivalente o proporcional al área bajo la curva.



Figura No. 18. Preparación de la muestra para análisis reológicos (tenacidad y trabajo).

Los datos se analizaron en el software Alveograph NG. Mediante la resistencia a la expansión y la extensibilidad de un disco de masa, se determino la tenacidad (P) el trabajo a la deformación (W) (Figura No. 19).

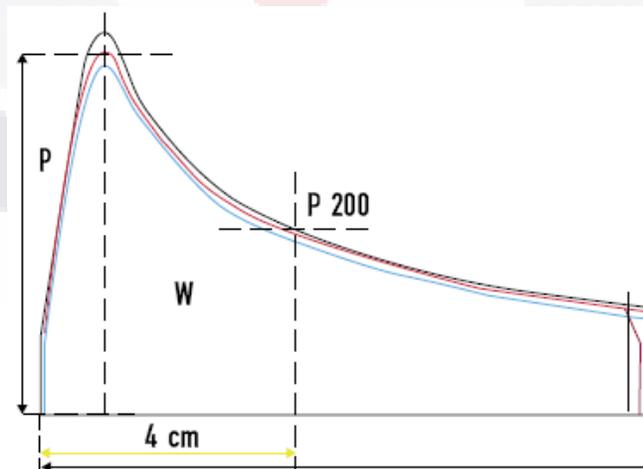


Figura No. 19. Gráfica de alveografía de masas.

Consistencia. La determinación se presenta en la Figura No. 20. Se llevo a cabo pesando 550 gr de masa en sus diferentes formulaciones y durante 250 segundos se midió la presión que ejerció la masa sobre una de las paredes de la cuba que tiene un captador de presión. El parámetro evaluado fue: PrMax (mb) que es la presión máxima registrada durante la prueba.

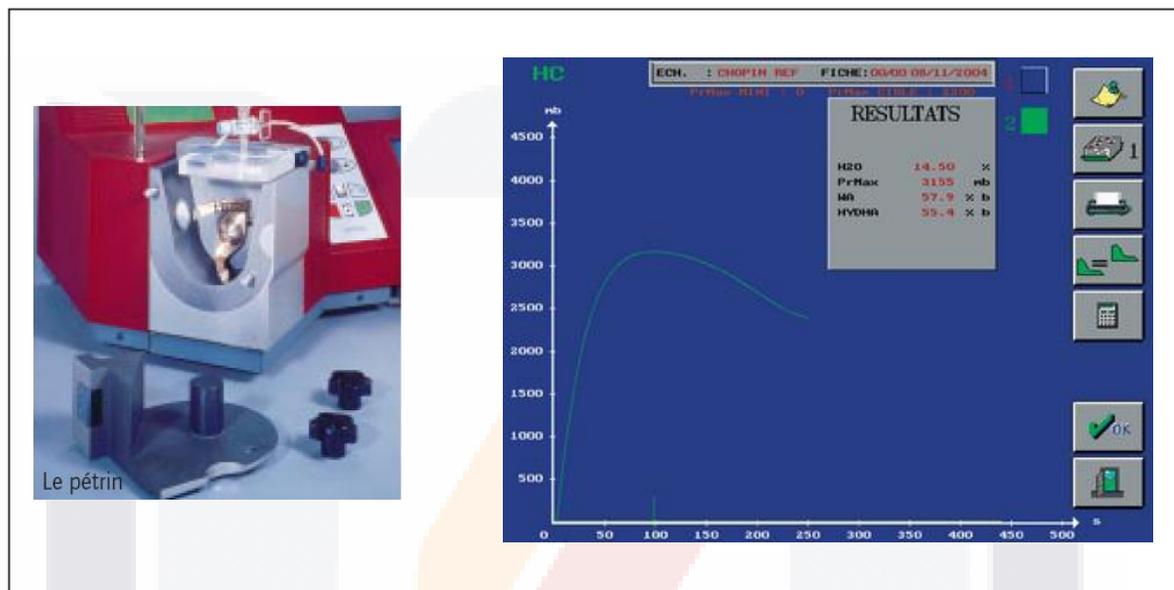


Figura No. 20. Consistografo (izq.) y gráfica proporcionada por el software Alveograph NG.

5.6.2. Medición subjetiva de facilidad de maquinado en masas

La facilidad de maquinado subjetiva consistió en evaluar la capacidad de los rodillos del cabezal de la tortilladora para amasar y preparar la cortina de masa para su inmediato corte se realizará por medio de una valoración sensorial (visual y de tacto) de las forma de trabajo por parte de la máquina a la respectiva masa (Figura No.4). Se tomó como base y se adaptó el protocolo seguido por Rooney (1999). Dos evaluadores capacitados y con experiencia en la fabricación de totopos de maíz (4 y 2 años) utilizaron una escala de 1 a 4 donde 1 será excelente maquinado y 4 muy deficiente maquinado, estos parámetros fueron desarrollados en la empresa Antojaditas (2007).

Tabla No. 8. Escala arbitraria de facilidad de maquinado en masas.

Características	Facilidad de maquinado
	Excelente:
1	Laminación uniforme Adherencia al rodillo principal Corte de cortina Piezas despegables
2	Muy buena: Laminación uniforme Adherencia al rodillo principal Corte de cortina Piezas despegables
3	Regular: Laminación irregular Adherencia al rodillo principal Corte de cortina Piezas poco despegables
4	Deficiente: Laminación irregular Adherencia al rodillo secundario Imposible realizar corte

A continuación, la figura No. 21 nos muestra gráficamente los puntos establecidos para la facilidad de maquinado y que son característicos de la tortilladora destinada a la elaboración de totopos.



Figura No. 21. Parámetros establecidos para la evaluación de facilidad de maquinado en masas.

5.7. PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y DE TEXTURA

5.7.1. Absorción de aceite

La absorción de aceite (IAA) fue determinada siguiendo la fórmula siguiente descrita por Véles (2006). Por ciento de absorción de aceite (AA):

$$AA = \left(\frac{WTF}{WTH} - \left(\frac{HPT}{100} \right) \left(1 - \frac{HFT}{100} \right) \right) WTF * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde: AA = porcentaje de aceite absorbido,

WTF = peso de tostada frita,

WTH = peso tortilla horneada,

HPT = porcentaje de humedad perdida de tortilla

HFT = porcentaje humedad final de la tortilla.

El porcentaje de humedad perdida de tortilla (%HPT) se calculó de la siguiente manera:

$$HPT = \left(\frac{WTC}{WTC} - \%HTC \right) WTC \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde: WTC = peso de la tortilla cocida y

%HTC = porcentaje de humedad de la tortilla cocida.

5.7.2. Crujencia

Este estudio se utilizó para evaluar las características de textura en totopos. La crujiencia se determinó usando la fuerza requerida para la fractura del material durante la compresión del primer ciclo usando el Texture Analyzer TA-XT2 Versión 2.63, figura No. 22.

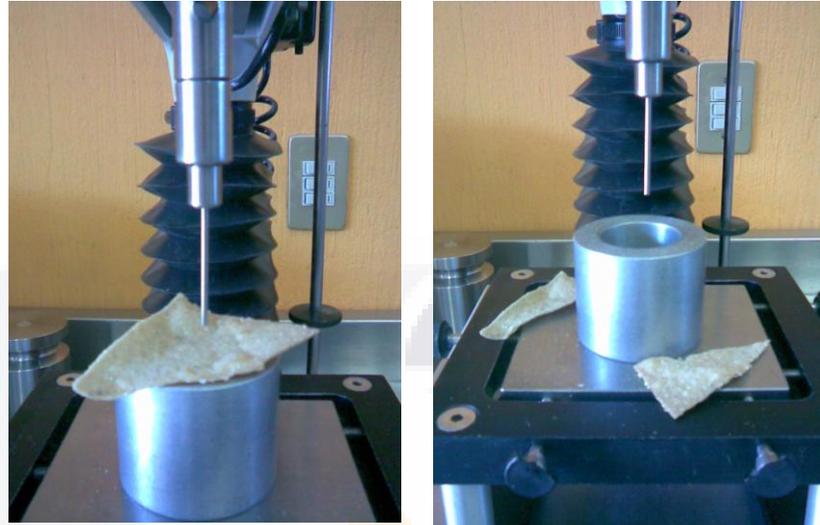


Figura No. 22. Ejecución de la prueba de crujiencia.

La sonda y las condiciones utilizadas fueron un cilindro con 0.203 cm. de diámetro a una velocidad de 10 mm/s y una distancia de 5 mm. Se colocaron las muestras en un cilindro de acero inoxidable hueco con base de 1.905 cm. de diámetro interior y 0.3 cm. en grosor de las paredes. Los ensayos se realizaron por veintena. A continuación se presenta la gráfica (figura No. 23) proporcionada por el software del Texture Expert Exceed en la medición de la fuerza requerida en el tiempo necesario para la fractura.

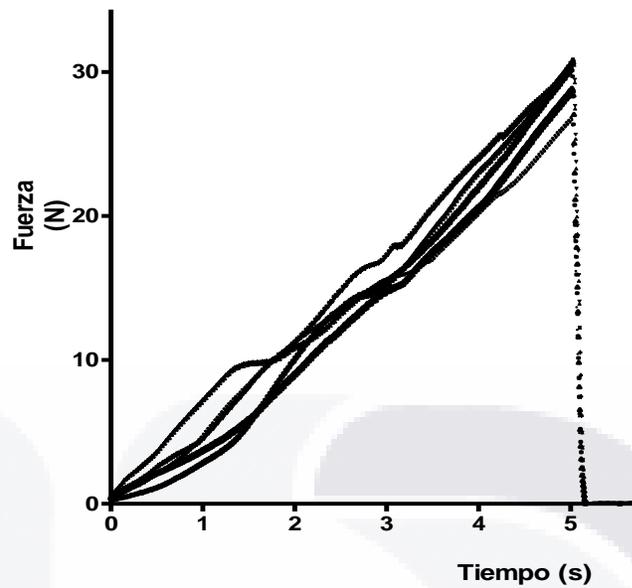


Figura No. 23. Grafica de la evaluación de crujencia en totopos del software Textura Exceed

5.7.3. Plasticidad y elasticidad

La plasticidad es la propiedad del cuerpo por la que una deformación se hace permanente y la elasticidad es la capacidad de los cuerpos de recuperar su forma original. En este estudio se determinaron las características plástico-elásticas de los materiales. La plasticidad se determinó usando la fuerza requerida para la penetración del material sin fracturar durante la compresión del primer ciclo usando el Texture Analyzer TA-XT2 Texture Expert Exceed Versión 2.63.

Esta prueba no destructiva, midió la elasticidad y plasticidad del material. En la siguiente figura No. 24 y 25, se esquematiza el análisis de estos parámetros:

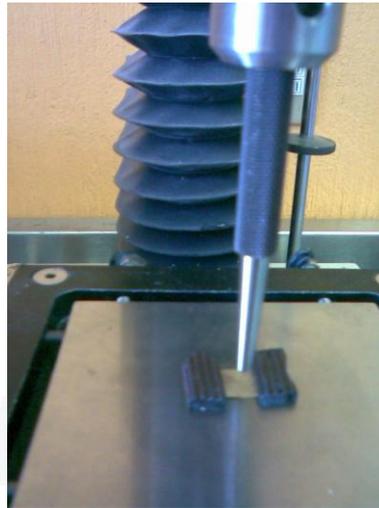


Figura No. 24. Ensayo para determinación de plasticidad y elasticidad en totopos.

La sonda y las condiciones utilizadas fueron una punta cónica de 0.203 cm de diámetro con terminación punteada a una velocidad de 0.1 mm/s y una distancia de 0.5 mm. Las muestras se prepararon cortando cuadros de 1 cm de lado y lijando las dos superficie hasta dejar lados planos.

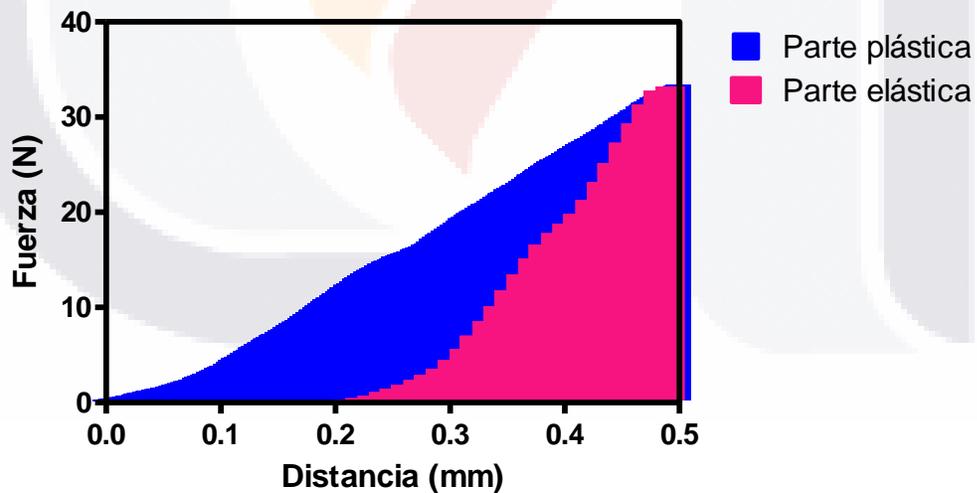


Figura No.25. Gráfica del software Textura Exceed para la evaluación del trabajo plástico y elástico los totopos.

El trabajo o área total, es la suma del área de la parte plástica y elástica, y es la fuerza empleada para la deformación del material y la requerida para recuperar su forma inicial.

5.7.4. SEM (Microscopia Electrónica de Barrido)

Las mediciones se realizarón, en los productos finales, colocando las muestras en celdas de acero inoxidable. Para la EDX, las muestras se prepararon para tomas superficiales y transversales, se cortaron cuadros de 5mm aproximadamente, para el corte transversal se realizo manualmente para evitar lijar y minimizar o destruir las estructuras porosas presentes en el totopo. Las muestras se colocaron en una charola de acero inoxidable adheridas con silicon.

5.9. ANALISIS ESTADISTICO

Para la obtención de muestras, se realizó un muestreo estadístico completamente al azar. El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizo a través del análisis de la varianza (LSD), análisis de regresión lineal, análisis de correlación de Pearson y análisis de superficie respuesta, utilizando un nivel de confianza del 95%. Los cálculos y elaboración de gráficos correspondientes se efectuaron con los programas estadísticos Statgraphics® Plus en su versión 5.1, The SAS System® en su versión 8, Microcal Origin 6.0.y GraphPad Prism 4.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. CARACTERIZACION DE HARINAS

Las harinas empleadas en las formulaciones HMN, HN y HSD se analizaron previamente y de manera individual para apreciar las características químicas y físicas. Después de probar y elegir la formulación base compuesta de dos tipos de HMN (marca Minsa) en base a dos aspectos: que fuera procesable y que presentará las mejores y más aceptadas características organolépticas, se empezó a ver la viabilidad de tres diferentes HN de diferente marca, la elección de la HN se realizó en base a tres aspectos: la ausencia de mucílago, presentara las características organolépticas más aceptables y que fuera apta para incluirla en el procesamiento para totopos.

6.1.1. Composición Química

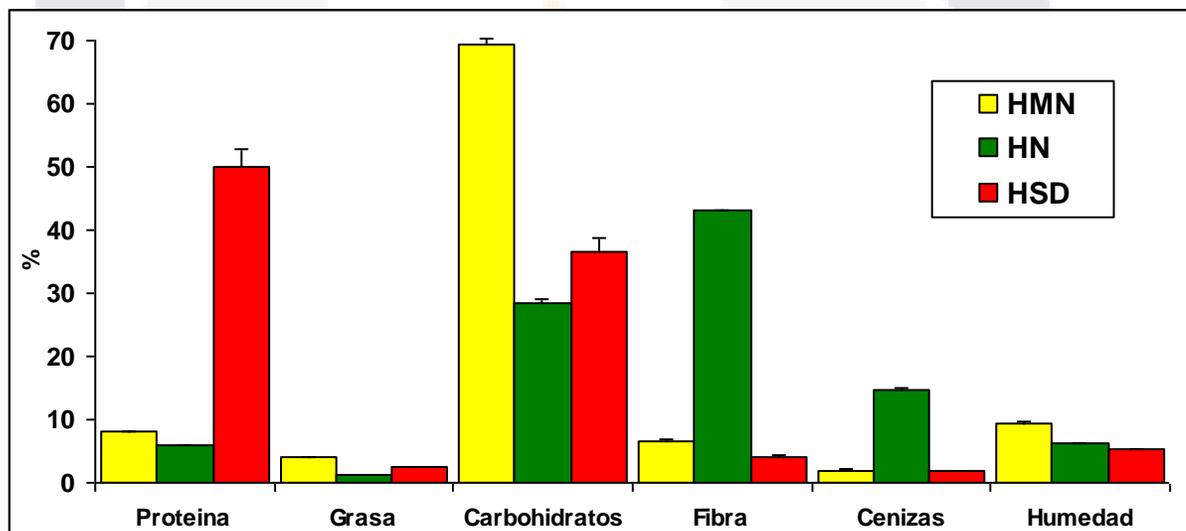
La composición química de las tres harinas utilizadas para la elaboración de totopos de maíz en este estudio: HMN, HN y HSD fueron analizadas. Las muestras presentan variaciones muy amplias en tres componentes principales: contenido proteico, fibra y carbohidratos.

En la Figura No. 26, se muestra la composición nutrimental de las harinas utilizadas en las 17 formulaciones desarrolladas. Se observa el alto contenido proteico (52%) presentado por la HSD, muy similar al registrado por Badui, 2006 de 53 por ciento, la HN y HMN presentan menos del 10 % de contenido de proteína.

El contenido de fibra dietaria para la HN de un 43 %; dentro de está fracción se tiene un 33 % de fibra soluble y un 66 % de fibra insoluble (Sáenz, 1997) ambas

fibras, posiblemente influirán en parámetros que dependen directamente del agua presente en las formulaciones, de igual forma la composición de fibra para HSD y HMN representó menos del 10 por ciento.

La composición de total de carbohidratos en HMN de aproxima al 75 %, el de HSD alrededor de 40 % y para la HN 30 %, la reducción de la HMN podría reducir el contenido de carbohidratos y por ende el contenido de energía del producto de forma importante sobre todo para las sustituciones del mayor porcentaje de sustitución. Con respecto a los componentes de grasos y de humedad presentaron una menor variación entre cada una de las harinas.



HMN (harina de maíz nixtamalizado); HN (harina de nopal); HSD (harina de soya desgrasada)

Figura No. 26. Composición química de HMN, HN y HSD.

La HSD no influirá de manera importante en el incremento de la composición grasa pues la sustitución es muy pequeña hasta el 6 % adicionalmente la HSD presenta valores del alrededor del 5 % una clara ventaja contra la harina de soya sin desgrasar que presenta una composición de 21 % (Badui, 2006).

Rooney (1999) agregó harina de soya natural a la formulación para tortillas y además de mejorar potencialmente la textura de la tortilla de maíz, también incrementó sus valores nutricionales, y mantuvo su costo.

6.1.2. Propiedades físicas

El tamaño de las partículas afecta de forma muy significativa la hidratación, la conformación de masas y su estabilidad, además de la facilidad de maquinado e inclusive su viabilidad para ser procesada, este parámetro relacionado con la formación de la estructura de los productos intermedios (masas, producto precocido, producto deshidratado) y finales (producto frito), la interacción con otros materiales o ingredientes, absorción de agua, la cohesividad de la masas, entre otros. Entre más grande sea el tamaño de las mismas mayor es la estabilidad, ya que la superficie total de las partículas es menor en relación al peso total y pueden también influir en propiedades como la capacidad de absorción y retención de agua en las formulaciones.

Con respecto al tamaño de partículas se observa en la Tabla No. 9, la HMN fue la que presento un tamaño de partícula mayor, con un 26.5 %, porcentaje de retención presentado para la abertura de 0.246 de la malla (# 60), indicativo de mayor presencia de partículas mayores que el resto de las dos harinas. La NOM-187-SSA1/SCFI-2002 (Norma Oficial Mexicana) establece que para HMN para tortillas el 75 % de la harina debe pasar a través de una malla No. 60 pero nuestra HMN es una mezcla de 2 harinas y es destinada para totopos que requiere una tamaño de partículas mayor, debido principalmente a que se requiere una masa más seca, más densa, con menor humedad, y que el producto deshidratado tenga una menor absorción de aceite además de influir en características sensoriales como la crujiencia y textura. La HMN es una harina pregelatinizada, es decir, después de la nixtamalización del grano de maíz y la obtención de masa se nixtamal, está es deshidratada y molida en diferentes granulometrías dependiendo del uso fina.

Los factores que inciden en el tamaño medio de partículas de la HMN son la dureza del grano, el tiempo de nixtamalización, la cantidad de álcali empleada, el tiempo de reposo, el ajuste en la velocidad de molinos y el cribado de la harina. (Flores-Farías *et al.*, 2002).

Tabla No.9. Parámetros granulares de las harinas de maíz nixtamalizado, de nopal y soya desgrasada.

Granulometría	HMN*	HN**	HSD***
Retención (%) +60°; +100°	26.5°	53.1°°	99.9°°

*HMN (harina de maíz nixtamalizado); **HN (harina de nopal); ***HSD (harina de soya desgrasada); ° Mayor a 0.246 mm; °° Mayor a 0.150 mm

La HSD y HN presentaron menor tamaño debido a que la malla utilizada de menor abertura (0.150mm) lograron atravesar en un 99.9 y 53.1 % respectivamente. Para la obtención de la HN se sigue un proceso sencillo que consiste en: lavado, cortado, deshidratado y molienda. La HSD no tienen un pretratamiento térmico, su obtención se da a partir de la molienda del grano de soya. Estas características mencionadas podrán influir en propiedades fisicoquímicas como la absorción y solubilidad en agua, la gelatinización del almidón y consistencias de masas.

El tamaño esta influenciado principalmente por el tipo de molienda al que son sometidas y afecta de forma muy significativa a la estabilidad de la masas, entre más grande sea el tamaño de las mismas mayor es la estabilidad, ya que la superficie total de las partículas es menor en relación al peso total. También influyen en la capacidad de absorción y retención de agua. La granulometría de la harina determina el uso al cual se destina. Una harina para tostadas y tamales requiere una granulometría más gruesa que la destinada a tortillas (Gómez *et al.*, 1987).

La HSD presenta alrededor de un 99 % de partículas menores a 0.150 mm comparado con un 53 % de la HN. Se recomienda la adición de HSD cuyo tamaño de partícula sea tal que el 90% pase a través de la malla No. 60 (0.246mm) para asegurar mezclas homogéneas de las harinas.

Fernández-Muñoz *et al.*, (2005) reportan que la masa no puede ser considerada como una composición uniforme cuando existe una diferencia en la distribución de tamaño de partículas, debido a que debe ser considerada como una mezcla heterogénea compleja de fracciones, cuyas reacciones e interacciones determinan el comportamiento de la masa durante la cocción y fritura.

La optimización de la distribución granulométrica en las sustituciones simples y combinadas es un parámetro cualitativo importante tanto para la homogeneidad como para la estabilidad de la masa. Es por eso que la HSD en porcentajes más altos de sustitución podría desarrollar cambios no deseados en la consistencia de la masa debido al tamaño de partícula, el estado “crudo” de la harina, entre otros factores. Gómez *et al.*, (1991) observan que cuando la granulometría de las harinas no es homogénea evita la formación de una red de masa homogénea, reduciendo el *blistering* y así la absorción de aceite durante la fritura.

6.1.3. Capacidad de Absorción y Solubilidad en Agua

La Capacidad de Absorción de Agua (CAA) es la cantidad de agua que absorbe la harina después de someter a un exceso de líquido, aplicar temperatura y centrifugación.

La calidad de las HMN está relacionada con la CRA, la cual es una forma de medir su funcionalidad. En el caso de las HMN las tortillas se elaboran simplemente rehidratándolas para obtener la masa, dándoles forma y cociéndolas. Durante la producción de las HMN el secado es un factor crítico para producirlas con una CRA apropiada, porque un tiempo de secado largo rompe las cadenas del almidón

y genera cadenas cortas que retienen mayor número de moléculas de agua (Almeida-Dominguez et al., 1996). Sin embargo, Campus-Baypoli et al. (1999) reportaron que con un excesivo calentamiento, los gránulos de almidón pierden su estructura e integridad formando una pasta gelatinizada con mayor índice de absorción de agua. Con esto se pueden obtener masas con mayor adhesividad lo cual dificulta su manejo durante la elaboración de las tortillas.

La CAA se calculó mediante la relación del peso del residuo de centrifugación y el peso seco de la muestra en cada temperatura probada, se muestra en la Figura No.27. La sustitución de HN parece comportarse al testigo en porcentajes del 5 %, el aumento de CAA conforme se incrementa la sustitución de HN puede ser debido a la porción soluble de la fibra presente en el nopal que incrementa dicha capacidad debido a la retención de agua por parte de la fibra.

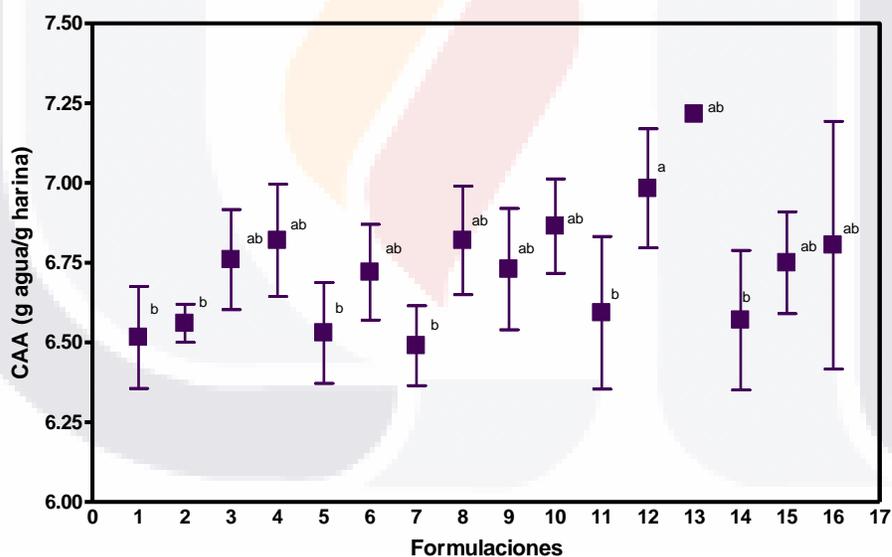


Figura No. 27. Índice de Capacidad de Absorción de Agua (CAA) en formulaciones de HMN, HN y HSD

Flores-Farías *et al.*, 2002, observaron valores de CAA con diferencias significativas en muestreos a lo largo del año, obteniendo valores de entre 3.5 y 6.5 gr de agua/ gr de muestra, hacen referencia a que la variabilidad puede depender al grado de cocimiento durante la nixtamalización o bien a diferencias de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

dureza del grano usado como materia prima. Gomez *et al.*, 1992, observaron que el grado de gelatinización se relaciona positivamente con la cantidad de agua que hidrata a los gránulos de almidón.

Por su parte la HSD a pesar del muy bajo porcentaje de sustitución (4,5 y 6%) parece tener influencia en la CAA, debido al contenido de proteína en las formulaciones ($r=-0.98$). La HSD decrece los valores de CAA debido a que esta harina se encuentra en estado crudo y es menor su CAA, y posiblemente debido a la tensión interfacial de las partículas.

La HMN cuenta con un pretratamiento térmico (nixtamalización) que incrementa la CAA comparado con el grano crudo, además esta propiedad está relacionada con la calidad de la HMN, ya que es una forma de medir su funcionalidad (Bello-Peréz, 2002).

Por su parte Rooney (1999) mostró que las tortillas fortificadas con 5% de soya desgrasada aumentaron la absorción de humedad de la masa y en general produjeron tortillas con mayor contenido de humedad.

Se observa que la HSD con diferencias de solo un 1 % en las formulaciones 5,6 y 7 la CAA no cambia, cosa contraria a las formulaciones 2,3 y 4, en donde el incremento de 5 % en HN incrementa la CAA de forma notoria. Las combinaciones de harinas no convencionales en general están influenciadas por esta capacidad de absorción de agua de la HN, sin embargo en porcentajes de 5 y 6 % la absorción se ve influenciada por la HSD en combinación con 5 % de HN.

Generalmente las proteínas de harinas de maíz no absorben agua fácilmente a bajas temperaturas, sus partículas tampoco no hidratan completamente, no absorben y no interactúan mucho entre ellas mismas. (Xue, 2006), es por eso que la adición de agua caliente de entre 40-50 °C favorece la hidratación de HMN.

Para lograr un máximo beneficio de la adición de productos de soya a la harina de maíz nixtamalizada (HMN), se debe ajustar la absorción de agua de la misma. La adición de productos de soya incrementó la absorción de agua de la harina de maíz nixtamalizada y tendió a incrementar el contenido de humedad de la tortilla (Rooney, 1999).

La fibra soluble tiene gran capacidad de absorción y retención de agua, al ser una sustancia osmoticamente activa, generalmente las fibras lo hacen en mayor o menor medida. Influyen muchas variables como el tamaño de las partículas, pH, electrolitos del medio. En el caso del tamaño de partícula se ha comprobado que cuanto mayor sea éste, más capacidad de absorción de agua tiene, característica muy importante al tener en cuenta el refinado de algunos alimentos como la harina.

En la Figura No. 28, se muestra la interacción de nopal en la CAA, se observa que conforme aumenta el contenido de nopal se incrementa la retención de agua. Se observa la influencia del nopal en la absorción de agua, incrementando esta capacidad conforme se incrementa la sustitución del 5, 10 y 15 %.

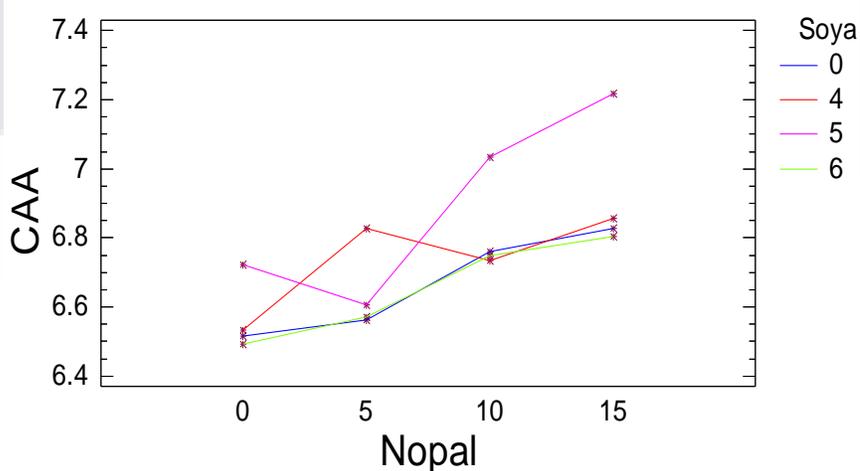


Figura No. 28. Interacción entre Nopal y Soya para CAA.

El índice de solubilidad en agua indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando una muestra de harina se somete a un exceso de este líquido, indica también el grado de cocción que ha tenido el grano con que se preparó la harina (González *et al.*, 1991).

En la Figura No. 29 se muestra de igual manera el incremento en el % de HN aumenta la ISA, caso contrario de la HSD la cual decrece dicha capacidad. En las combinaciones de manera general están influenciadas por la HSD, a pesar de tener porcentajes de sustitución considerablemente menores a los de HN.

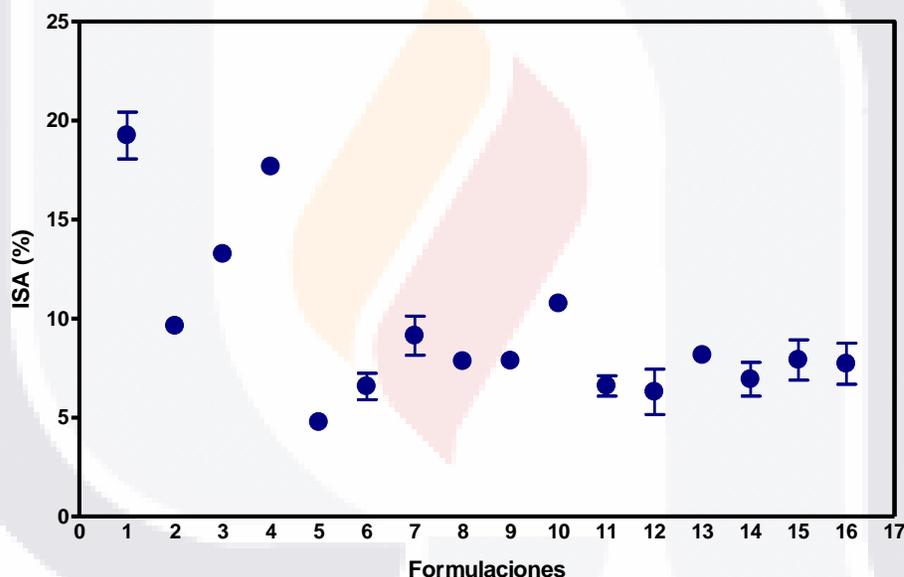


Figura No. 29. Índice de Capacidad de Solubilidad en Agua (ISA) en formulaciones de HMN, HN y HSD

La figura No. 29 muestra que el testigo se comporta diferente al resto de las formulaciones. El sustitución de HN presenta menos ISA que el testigo, conforme se incrementa la sustitución de HN se incrementa dicha capacidad.

La capacidad de solubilidad de agua es muy diferente para el testigo y el resto de las formulaciones. Entonces puede ser que la HSD y HN presente menor

capacidad de solubilidad que la HMN, y esto puede ser debido a que la HMN tiene un proceso de cocción durante la nixtamalización que las otras dos harinas no presentan.

Esta habilidad absorción depende principalmente de el tamaño de partícula, generalmente entre mas pequeño es el tamaño de partícula, mejor es su propiedad de absorción de agua. Sin embargo si el tamaño de partícula es muy pequeño un efecto contrario podría resultar debido a la perdida de espacios intersticiales (Sáenz, 1998)

Las formulaciones con HSD (F5, F6 y F7) decrecen el ISA, comparado a HN y el testigo, y en las combinaciones influyen notoriamente (F8-F16), posiblemente debido a que esta harina se encuentra en estado crudo y es menor su ISA, y posiblemente debido a la tensión interfacial de las partículas, a pesar del muy bajo porcentaje de sustitución (4,5 y 6%), este comportamiento se presenta en todas las sustituciones combinadas.

Flores-Farías *et al.*, 2002, observaron valores de ISA con diferencias significativas en muestreos a lo largo del año, obteniendo valores de entre 4.5 y 18 %, y de igual manera hacen referencia a que la variabilidad puede depender al grado de cocimiento durante la nixtamalización.

La solubilidad es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en un líquido. Puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o en porcentaje de soluto; en algunas condiciones se puede sobrepasarla, denominándose solución sobresaturada. Además la solubilidad es la propiedad que tienen unas sustancias de disolverse en otras a temperatura determinada.

En la Figura No. 30, se muestra la interacción de la soya en el ISA, se observa que conforme aumenta el contenido de soya no varia significativamente la solubilidad en agua, pero influye notoriamente en las formulaciones combinadas,

influyendo sobre la presencia del nopal y reduciendo casi en un 50 % esta propiedad en comparación al testigo.

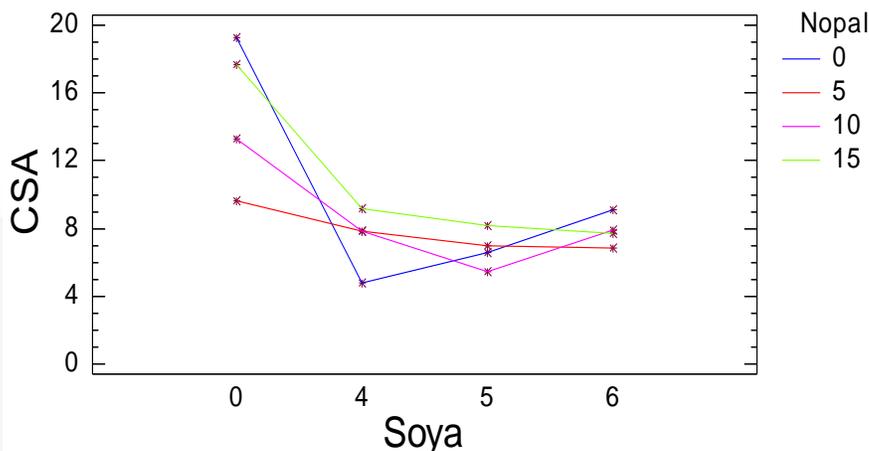


Figura No. 30. Interacción entre Nopal y Soya para solubilidad de agua

6.2. CARACTERIZACIÓN DE MASAS

Posterior a su mezclado y formado, la masas fueron analizadas en su comportamiento fisicoquímico: a_w , X_w , color; reológico: tenacidad, trabajo y consistencia y facilidad de maquinado (propiedad tecnológica).

6.2.1. Propiedades fisicoquímicas

En la Figura No. 31 se observa los parámetros fisicoquímicos analizados a las masas inmediatamente después de su formación, todos los parámetros estudiados resultaron significativos ($p < 0.05$). La a_w y la humedad se ven afectadas por la presencia de HSD 4, 5 y 6% (formulaciones 5, 6 y 7). Por otro lado la sustitución con HN en los porcentajes 5, 10 y 15 provoca una disminución de carácter significativo en la a_w , esto por la presencia de la parte soluble de HN que secuestra un mayor porcentaje de agua debido a la presencia de fibra soluble, además de su capacidad de hidratación e hinchamiento.

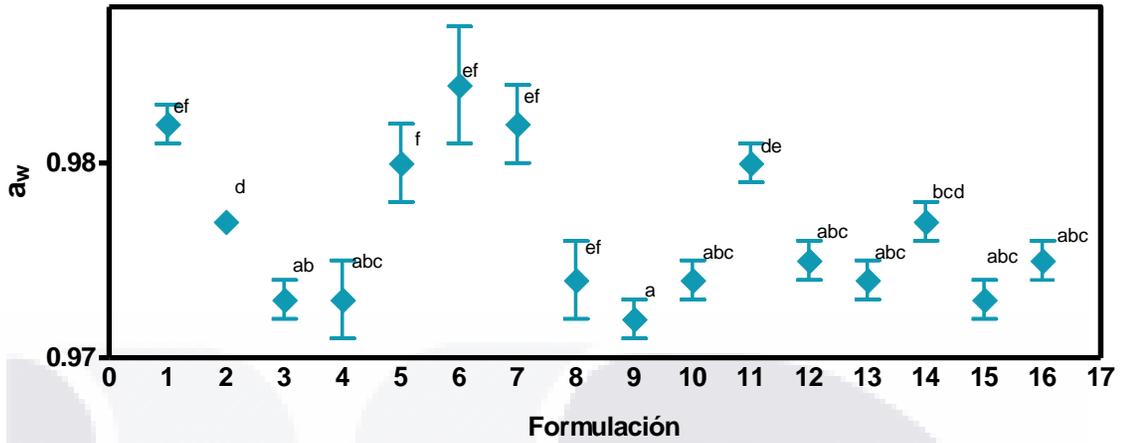


Figura No. 31. Actividad de agua (a_w) en masas de HMN, HN y HSD.

En la Figura No. 32 se observa que conforme se incrementa el porcentaje de HN y disminuye la actividad de agua debido a la absorción de agua por parte de la fibra.

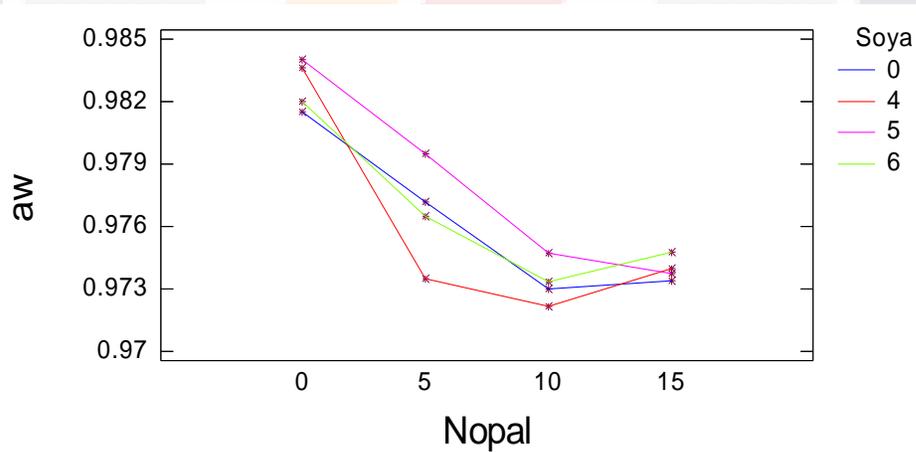


Figura No. 32 Interacción entre Nopal y Soya para a_w

La humedad en masas (Figura No. 33) se comportó de manera muy parecida al testigo en las formulaciones combinadas. Por su parte en las combinaciones sencillas se incrementaron en la presencia de 4 y 5 %HSD. A mayor porcentaje de HSD mayor contenido de humedad en masas.

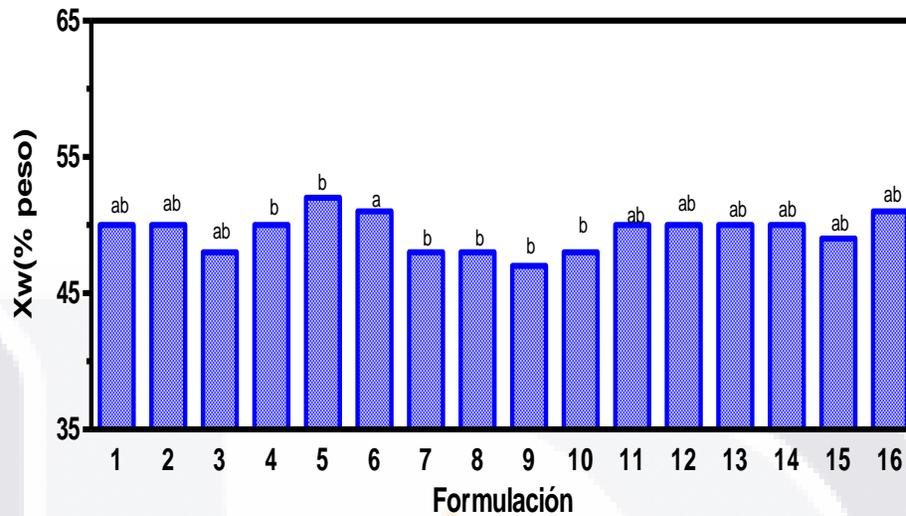


Figura No. 33. Humedad (% peso) en masas de HMN, HN y HSD.

La humedad en masas para la elaboración de tortillas, totopos, tostadas y los productos a partir de maíz nixtamalizados que con cocidos, precocidos, deshidratados u horneados, deben de considerar la humedad inicial de la masa para obtener las características deseadas de los productos mencionados. Una masa para tortillas requiere mayor humedad; el contenido de humedad de las tortillas varía en el rango de 38-55% (Almeida- Dominguez *et al.*, 1996); pues el tratamiento térmico tiene la finalidad de la cocción total de la pieza, mientras que la masa para botana requiere menor humedad (35-45 %) ya que la humedad será intercambiada por aceite durante el freído, y a mayor humedad, mayor la absorción de aceite y la grasosidad del producto fina.

Las coordenadas de color (Figura No. 34), se observa que a medida que se incrementa la concentración de nopai (5-15%) se tiene un descenso en la luminosidad (L^*) muy acentuado. El valor de a^* se incremento conforme se incrementaron los porcentajes de sustitución con HN, debido a que la coordenada tiene por indicativo el color verde. La presencia de soya no afecta significativamente al color siendo similar a la formulación testigo. Con respecto a

b* las formulaciones que contienen nopal presentaron un efecto mayormente acusado de tonalidad amarillo verdoso conforme aumenta el porcentaje de HN. Las formulaciones que solo contienen como HSD como sustituto y la formulación testigo (HMN) presentaron tonalidades amarillas.

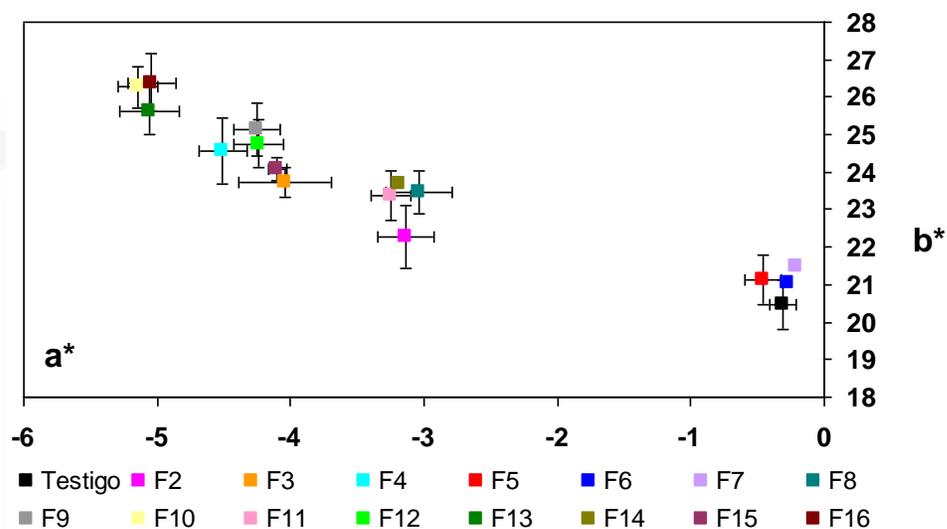


Figura No. 34. Plano Cromático a* vs. b* de masas de HMN, HN y HSD

La HN presento una relación negativa con la luminosidad y a*, ya que con el incremento en la sustitución L* disminuyó ($r=-0.92$) y las tonalidades verdes se incrementaron $r=-0.92$).

Figura No. 35 y 36 se muestra el comportamiento de HN y sus incrementos para los valores a* y b*.

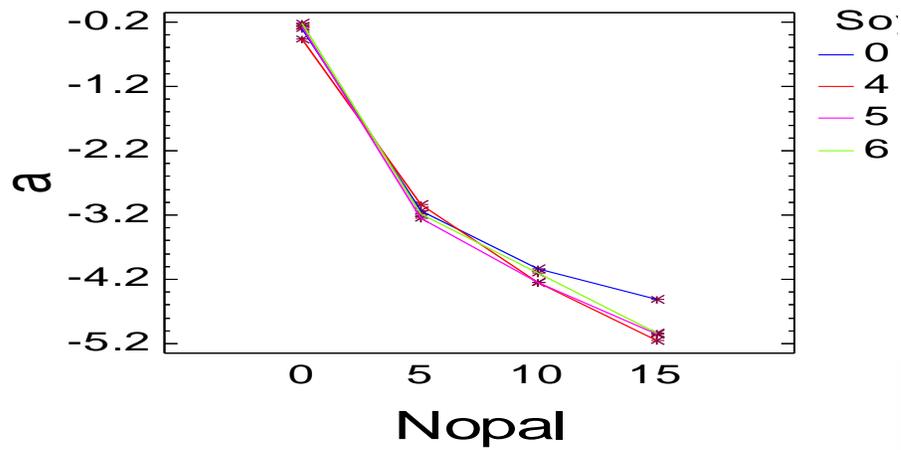


Figura No. 35. Plano Cromático a* vs. b* de masas de HMN, HN y HSD

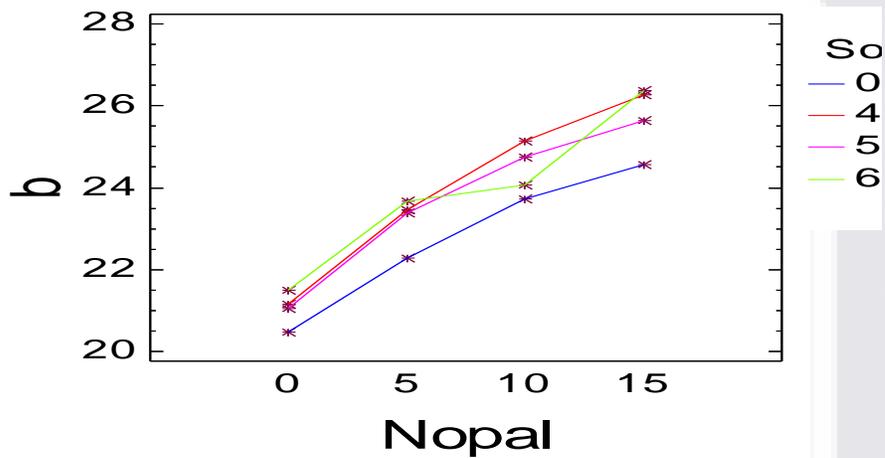


Figura No. 36. Plano Cromático a* vs. b* de masas de HMN, HN y HSD

El incremento en los porcentajes de HN influyen en el aumento de las tonalidades verdosas, mientras que para a* disminuyen los tonos amarillos con el incremento de HN.

6.2.1. Propiedades reológicas

En la Tabla No. 37 se muestran los parámetros reológicos de las 16 masas desarrolladas, resultando todos de carácter significativo. La resistencia a la deformación de la masas se incrementa conforme aumenta la concentración de

HSD, ya que esta influye en las propiedades reológicas de las masas, y en la facilidad de maquinado.

El valor de P representa el valor de la presión máxima que está en relación con la resistencia de la masa a la deformación de las masas, y se relaciono con el contenido proteico de las masas ($r=0.91$). El trabajo realizado para deformar la masa (W) esta fuertemente relacionado con el contenido de proteína y la fuerza de la harina (Serna-Saldívar, 1997).

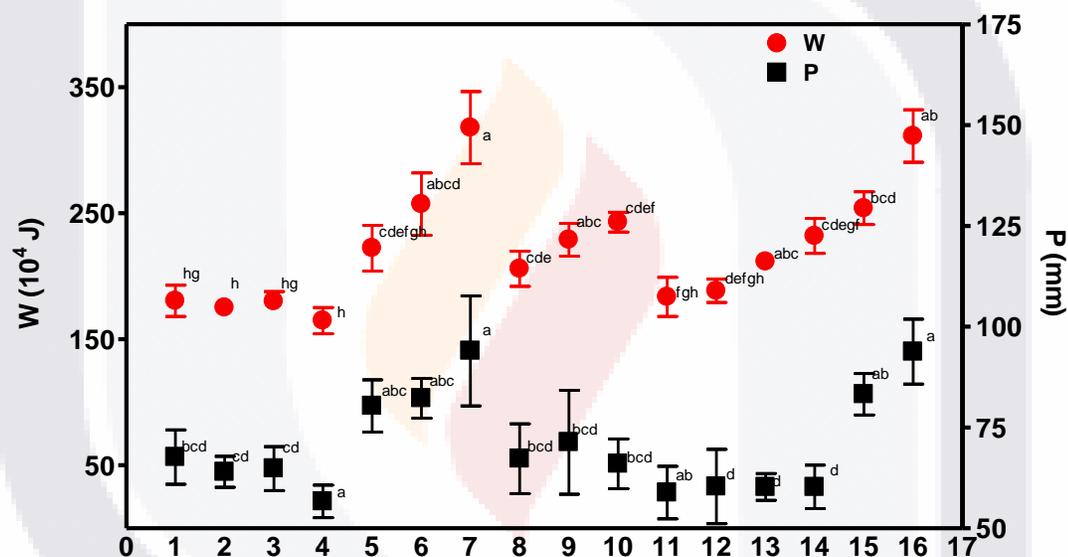


Figura No. 37. Tenacidad (P) vs. Trabajo de deformación (W) en masas de HMN, HN y HSD

La tenacidad (P) y el trabajo (W) presentaron un comportamiento similar entre las formulaciones simples con HN, es decir, las F2, F3 y F4 presentaron en ambos parámetros valor similar al testigo (F1), mientras que las sustituciones con HSD (F5, F6 y F7) incrementaron los valores para P y W.

Para la sustitución con HSD, el trabajo (W) se observa la influencia de la HSD sobre las formulaciones combinadas de F11 a F16, considerando W esta relacionada a la funcionalidad de las proteínas según Serna-Saldívar, 1997.

Por su parte la tenacidad (P), se incremento en las sustituciones simples con HSD (F5, F6 y F7), generando valores mayores que el testigo (F1), en las sustituciones combinadas hasta el 6 % se sustitución se presentó una influencia marcada por HSD. Figueroa et al., 1997 observaron que la adición de 4% y 6% de soya incremento la cohesión de la masa pero no afectó la adhesión, es decir, la soya incremento el aglomeramiento de las partículas en la masa pero ésta no se hizo pegajosa.

De Escalada *et al.*, (2005) obsevaron que la tenacidad de masas (P) aumenta con el agregado fracciones ficas en fibra de calabaza para reología de masas farináceas, a su vez las interacciones P/L se vieron incrementadas, Rosell (2001) advierte que el comportamiento puede deberte a la interacción entre los polisacáridos y las proteínas de la harina.

En la figura No. 38, se muestran las interacciones entre HN y HSD para la tenacidad (P). La sustitución de HSD (4 y 5 %) se vieron disminuidas con el incremento de HN (5, 10 y 15 %). Pero notoriamente la sustitución de HSD al 6 % se vio incrementada conforme se incremento HN (5, 10 y 15 %)

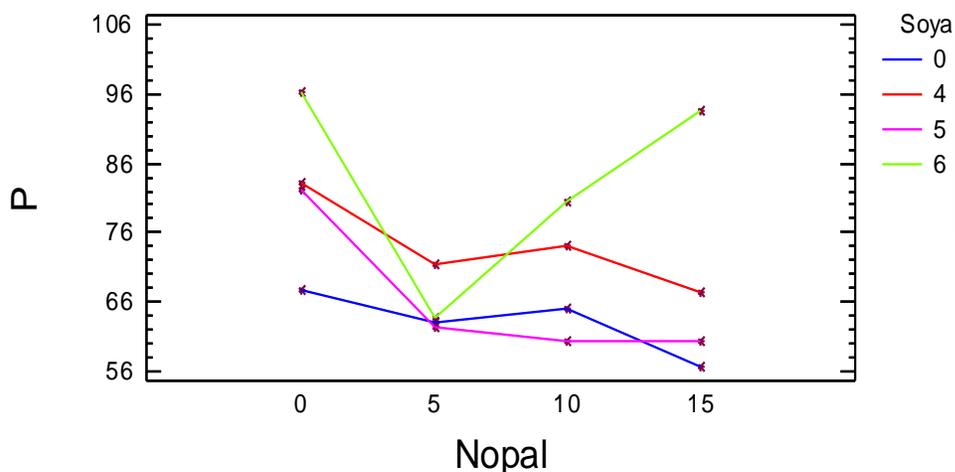


Figura No. 38. Interacción entre Nopal y Soya para P (tenacidad en masa)

En la figura No. 39 se muestra la interacción que tienen HN y HSD sobre el trabajo requerido para la deformación de la masa (W). Se observó que el incremento de soya genera un aumento en el trabajo requerido para deformar la masa.

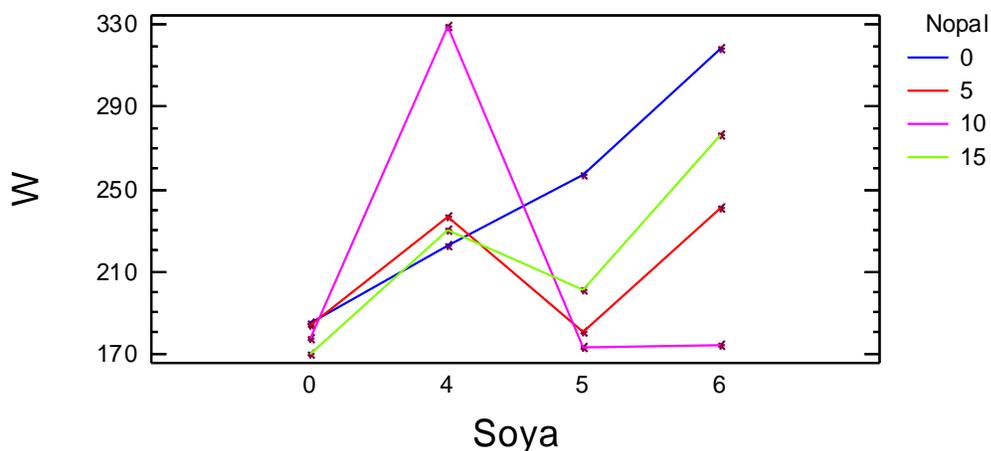


Figura No. 39. Interacción entre Nopal y Soya para W(trabajo a la deformación)

Por su parte la HN a concentraciones de 0 % HSD, no varía mucho este valor.

Escalada *et al.*, (2006) observaron un reducción en el trabajo de deformación (W) con el aumento de fracciones de fibra de calabaza a masas farináceas.

En la Figura No. 40, se observan los parámetros de consistencia para las diferentes masas analizadas; donde se presentó una correlación entre el contenido proteico y PrMax (r=0.7).

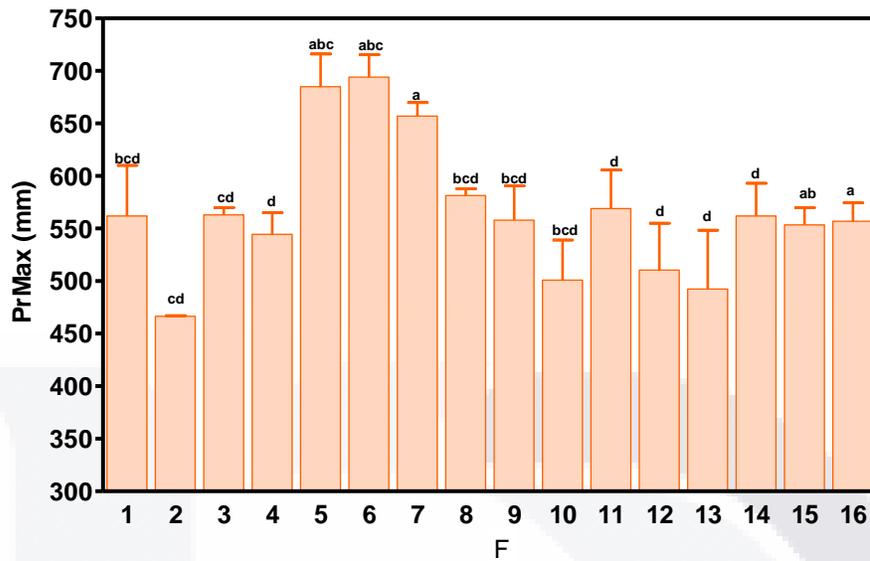


Figura No. 40. Consistencia (PrMAX) en masas de HMN, HN y HSD

La soja influye en la consistencia notoriamente en las sustituciones simples y en las sustituciones combinadas de porcentaje con valore de 6 los incrementos de % HN no son marcados por la consistencia, la influencia de la HSD puede ser debida, posiblemente al aumento significativo en el contenido proteico de la HSD (52%, tabla No.2). Así mismo a un aumento en la capacidad de retención de agua característicos que presentan masas que contengan 5% de HSD (Rooney, 1999).

Rooney, (1999) encontraron que con un 5% de HSD se obtiene un optimo en la facilidad de maquinado. Figueroa *et al.*, 2001 demostraron que con porcentajes de 4 y 6 % de harina de soja se incrementaba la cohesión (fuerza) de la masa debido al incremento en el aglomeramiento de las partículas en la masa.

La gelatinización del los gránulos de almidón juegan un importante rol en las propiedades reológicas de los materiales durante el calentamiento (Li *et al.*, 2007).

La adición de sal al sistema reduce ligeramente la viscosidad. La sal liga al agua fuertemente e incrementa la capacidad de retención de agua del sistema (Changala *et al.*, 1989). Xue, 2006 y Salvador, 2003 demostraron que la sal afecta

la solubilización de las proteínas del gluten en harinas de trigo resultando en una reducción en la consistencia. Normalmente el trigo muestra mayor consistencia y viscosidad debido a la habilidad del gluten de trigo de absorber agua (Xue, 2006) en mezclas comparadas con harinas de arroz y maíz.

La consistencia (PrMax) es reducida por la presencia de HN en las masas, y aumentada por la presencia de las proteínas de HSD, esto es presentada en la Figura No. 41. LA HSD incrementa la consistencia entre valores de 660 a 700 mientras que la ausencia de HSD los valores de PrMax son de alrededor 570. Sin embargo el en la línea azul el incremento de HN registra un incremento en la consistencia.

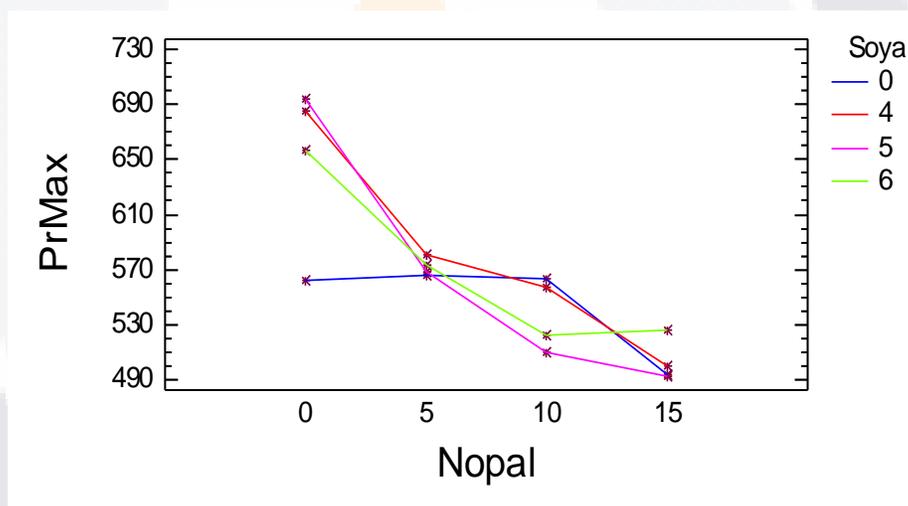


Figura No. 41. Interacción entre Nopal y Soya para PrMax (consistencia)

La consistencia en masas estuvo influida por el contenido de HN disminuyendo conforme se incrementaba el contenido de HN a un 15 %, para la sustitución de simple de soya, se incrementa la consistencia de las masa, debido probablemente al alto contenido proteico obteniendo valores superiores a 650 de presión máxima.

En la Figura No. 42 se presenta la ejecución de la prueba, formulaciones antes de ser sobre amasadas para determinar la consistencia, y después de amasadas.

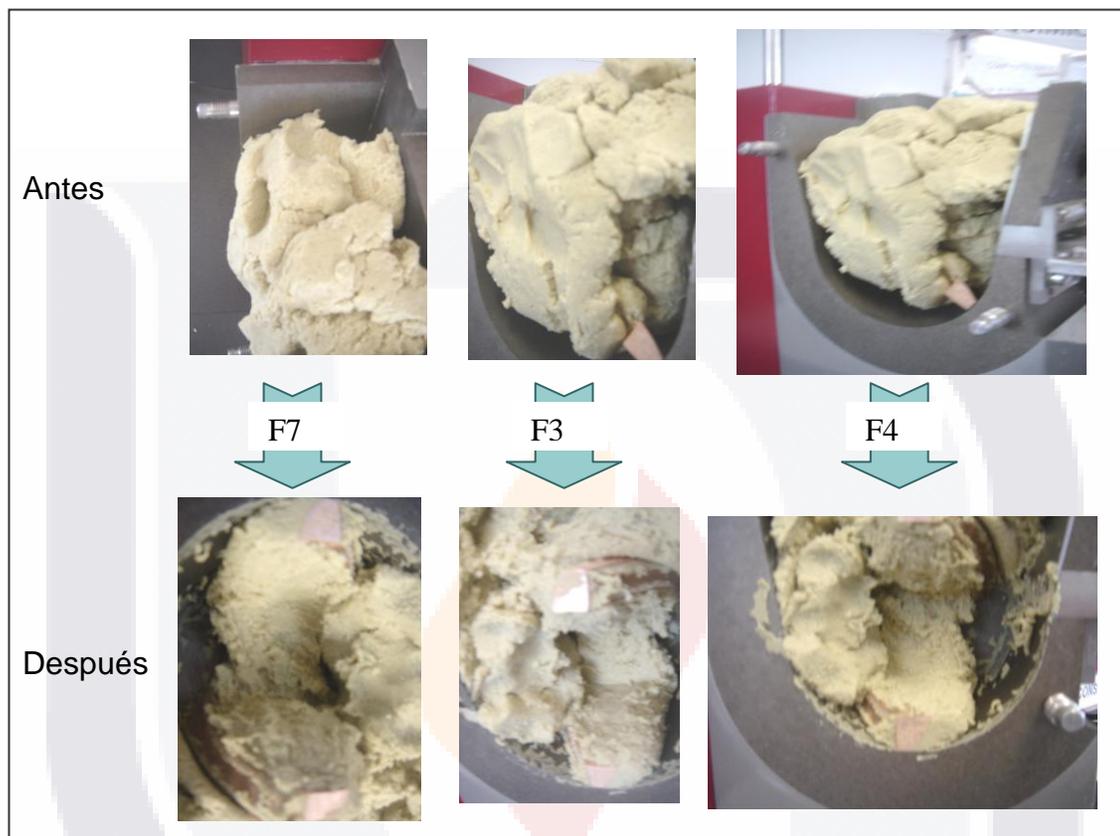


Figura No. 42. Prueba de consistencia (Consistografo Chopin).

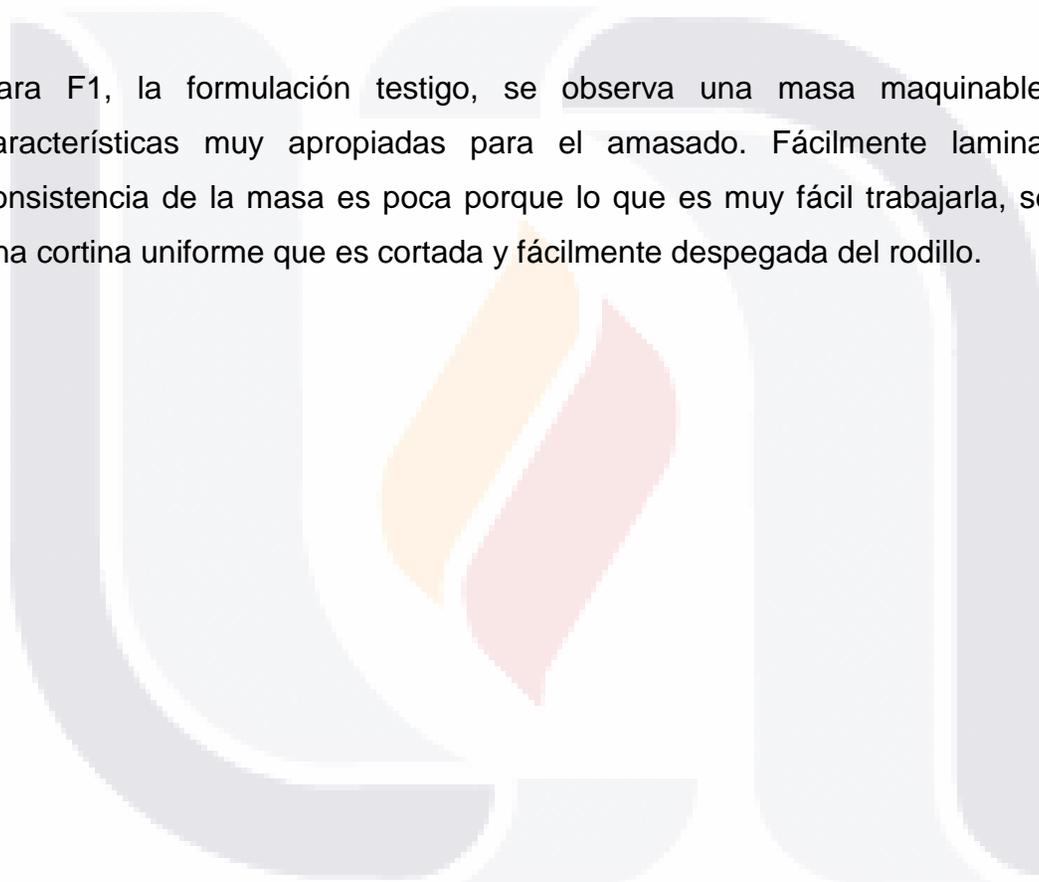
Se observa que las masas cambian sus características posterior al sobre amasado, de presentar poca elasticidad antes de la prueba se tornan chiclosas y pesadas. Es importante en masas de maíz nixtamalizado no sobre pasar tiempo de amasado, pues imposibilita o disminuye la maquinabilidad o procesabilidad de las masas, generalmente la maquina aplica un amasado antes del troquelado de las piezas .

6.2.3. Propiedades tecnológicas

La facilidad de maquinado consiste en la habilidad de la masa de ser moldeada y cortada para la obtención de testales (piezas de masa crudas) por parte de la tortilladora.

En la Figura No. 43, 44, 45 y 46 se observan los comportamientos de masas en la facilidad de maquinado.

Para F1, la formulación testigo, se observa una masa maquinable y de características muy apropiadas para el amasado. Fácilmente laminable, la consistencia de la masa es poca porque lo que es muy fácil trabajarla, se forma una cortina uniforme que es cortada y fácilmente despegada del rodillo.



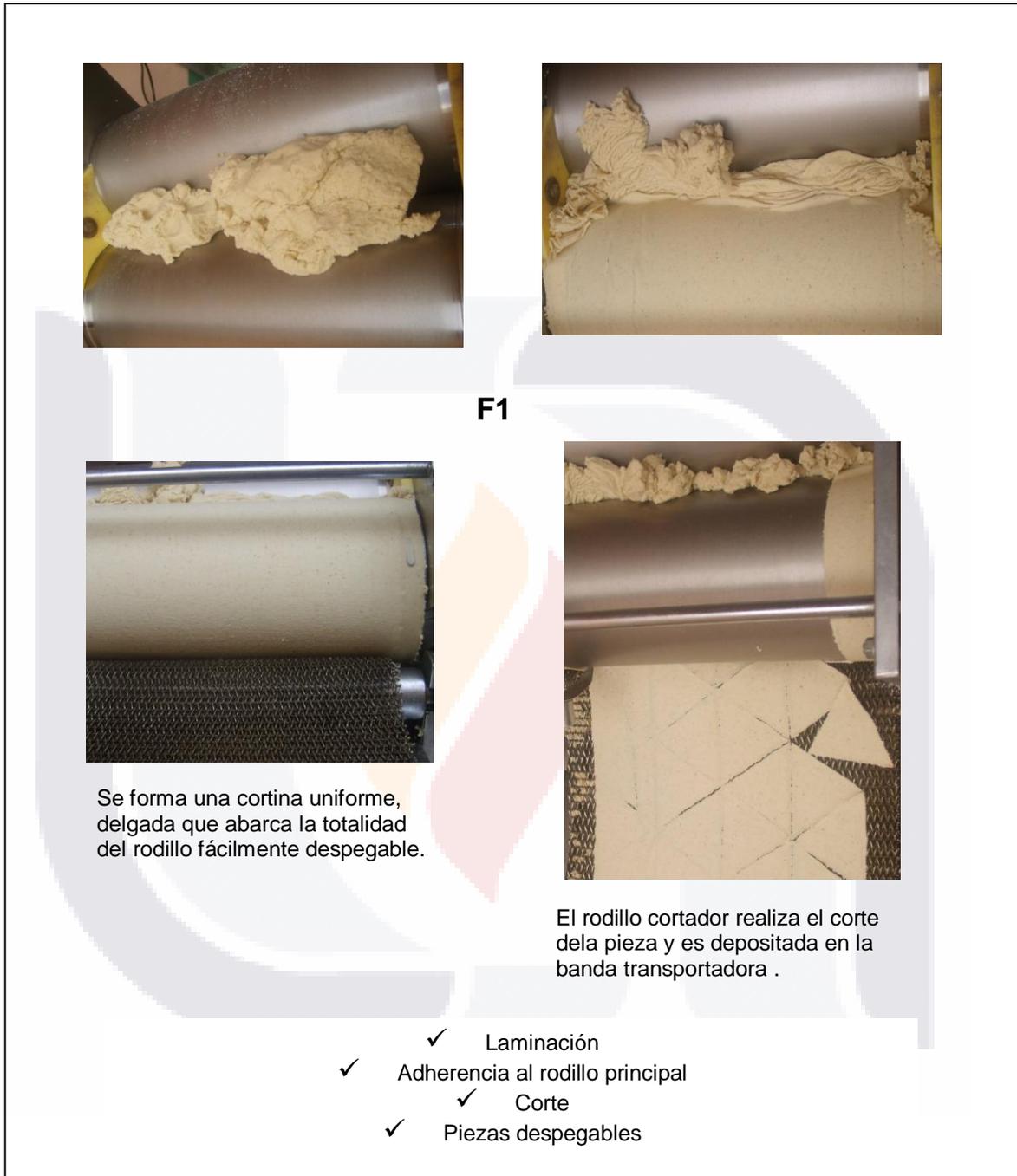


Figura No. 43. Facilidad de maquinado F1.

En la figura No. 44 se presenta la facilidad de maquinado de las mejores masas que completaron de manera satisfactorios los puntos evaluados propiedad tecnológica: F1, F4, F5, F6 Y F8.

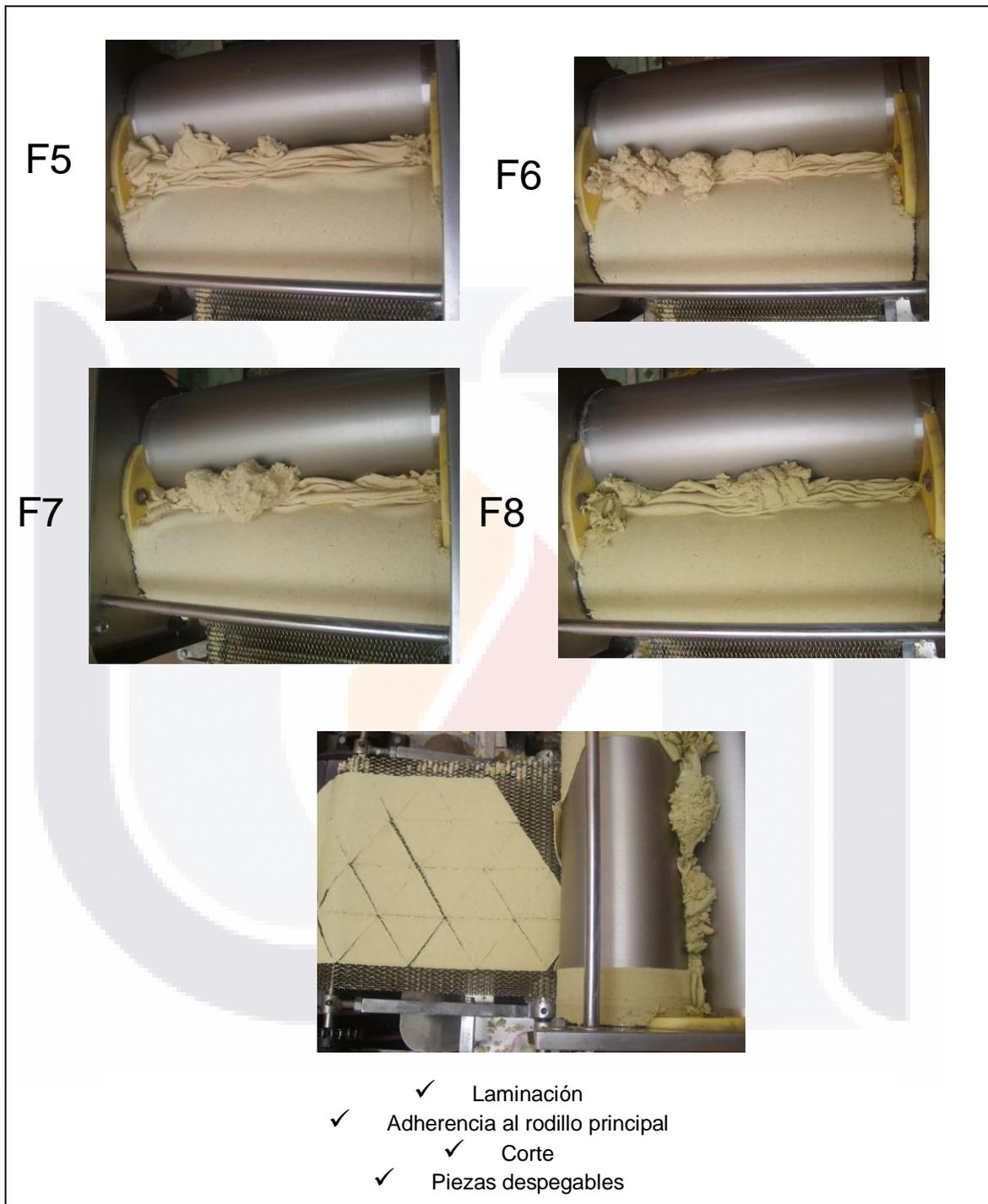


Figura No. 44. Facilidad de maquinado excelente de masas.

En la figura No. 45, las sustituciones simples de HN al 5 y 10 %, presentaron laminación, adherencia al rodillo principal, y los testales son fácilmente desprendibles del rodillo.

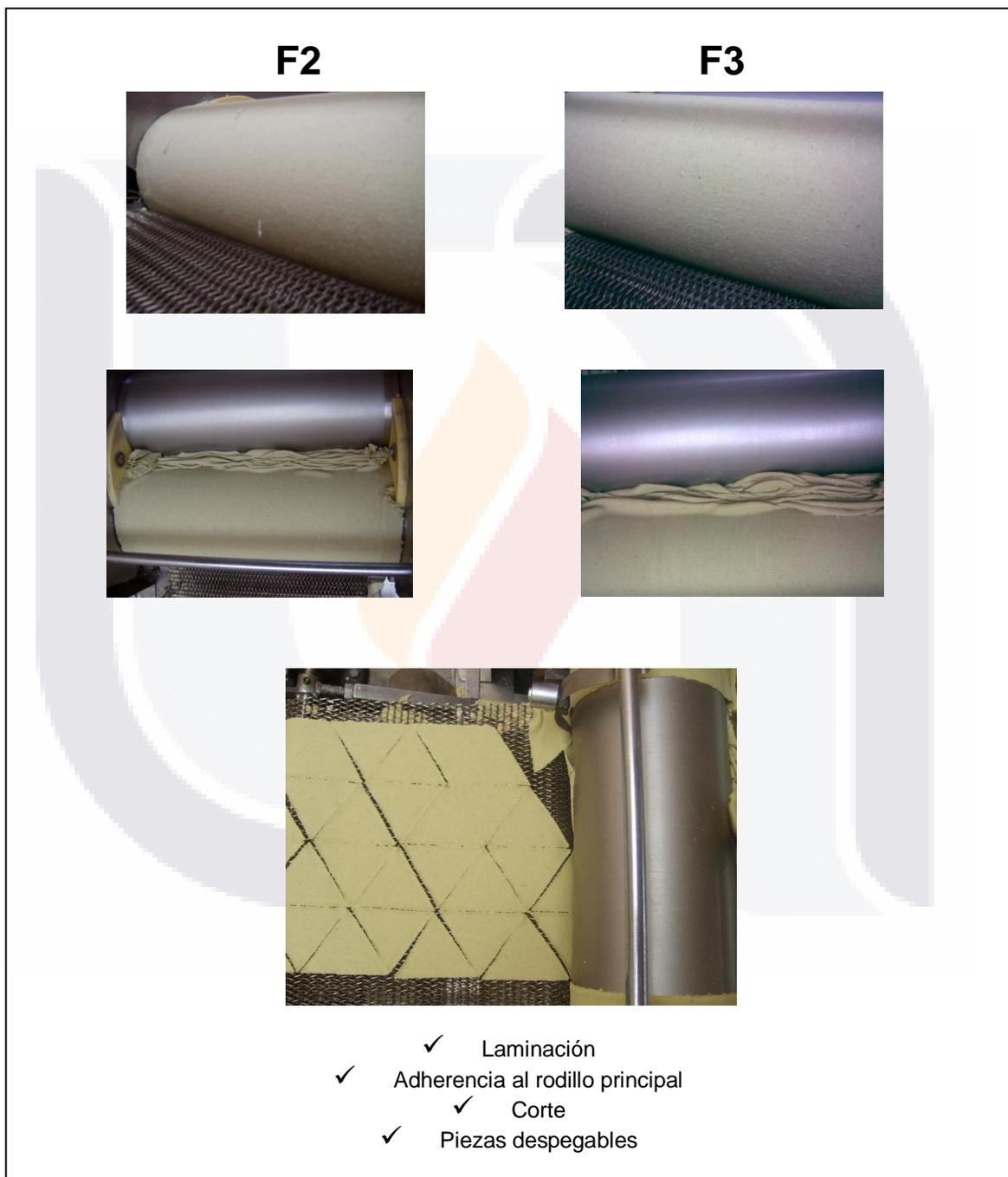


Figura No. 45. Facilidad de maquinado F2 y F3.

No se considero excelente porque la masa se aprecia más compacta y ligeramente más pesada para ser procesable además que debe de evitarse en reciclado de la masa en el rodillo porque se torna chiclosa llegando a alterar el funcionamiento de los rodillos y los motores. Esto no quiere decir que no sea procesable, solamente que no presenta a las características descritas para la facilidad de maquinado.



Figura No. 46. Facilidad de maquinado F9 deficiente contra el control (F1).

En la figura No. 47 el comportamiento de las masas regulares. Se observa que comparado con el control si se forma una cortina que dura muy poco tiempo, pues inmediato de vuelve chiclosa, es imposible su separación del rodillo y no es uniforme a lo largo del rodillo.

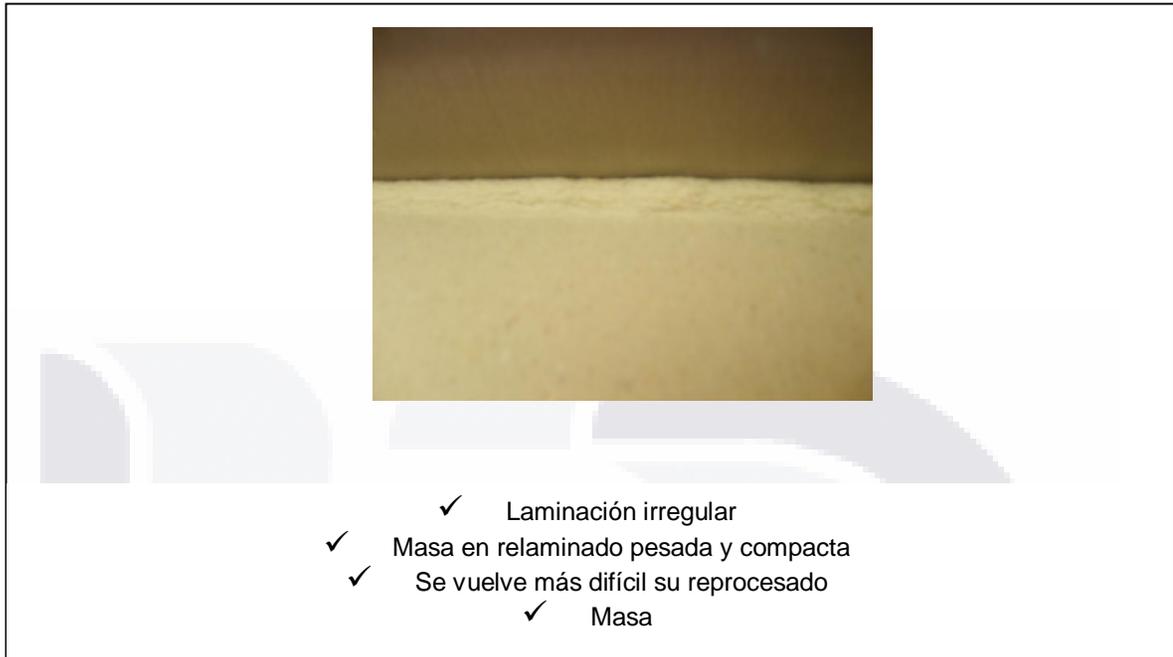


Figura No. 47. Facilidad de maquinado F11.

En la figura No. 48 se muestran las masas no aptas para su procesamiento, en la primera figura se observa la masa sobre el rodillo secundario (superior) de ahí no hay según forma de separarlo, la masa es tan pesada para los rodillos que sobrepasa el alambre despegador intermedio e inmediatamente se pasa al rodillo, impidiendo su corte y su desprendimiento, además se observa que la banda transportadora de testales está del lado contrario, de hecho es muy difícil retirar la masa manualmente. Entonces su procesado es no apto a pesar de sus características reológicas y bromatológicas.

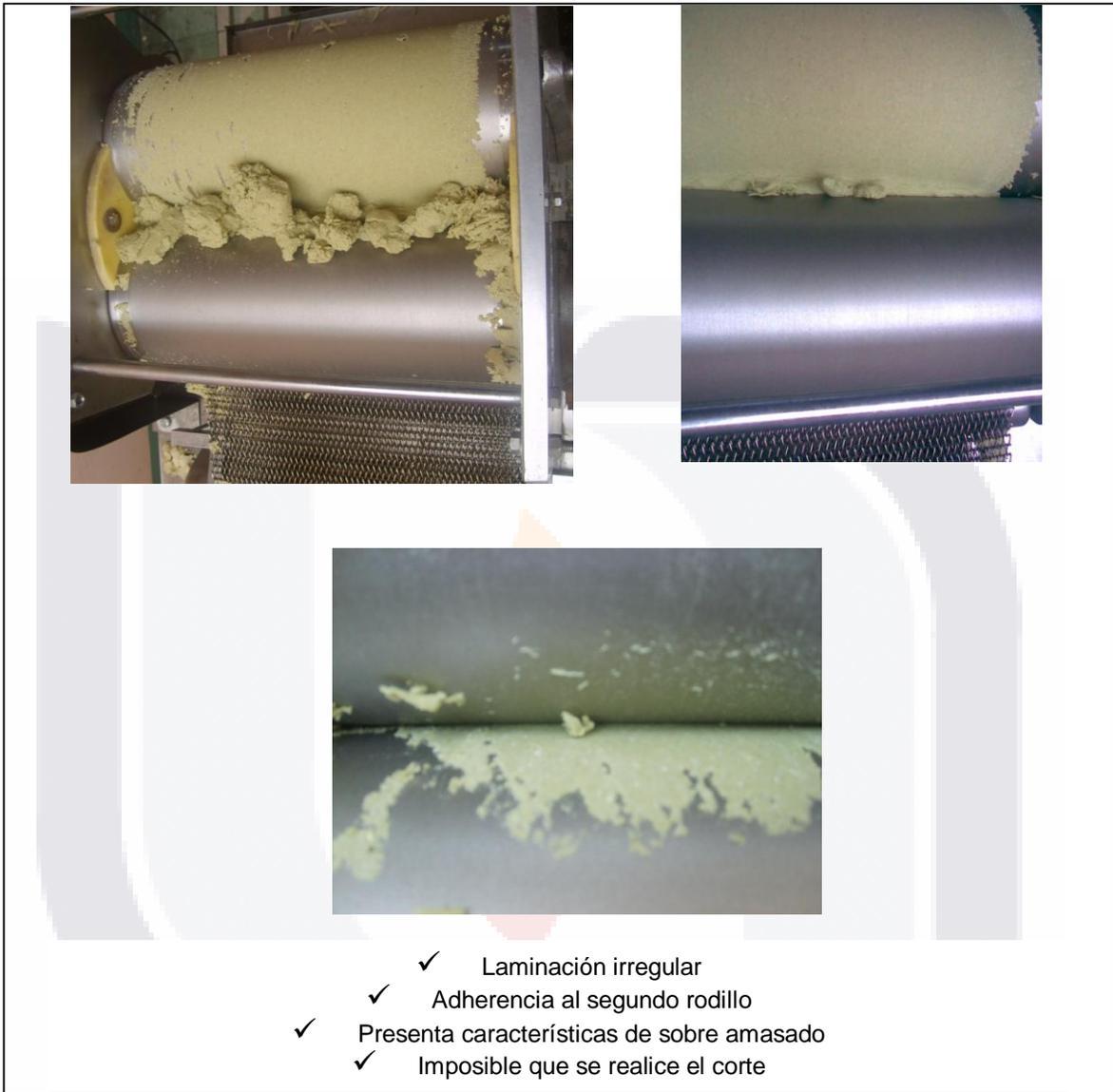


Figura No. 48. Facilidad de maquinado F4 no apto para procesar.

A grandes rasgos se puede concretar lo siguiente: la sustitución simple de HN (F2 y F3) presento cambios característicos en la facilidad de maquinado, se observó una masa ligeramente pesada y compacta que pudo ser moldeada y cortada por la tortilladora, comportamiento similar a la F9. La sustitución simple de HSD (F5, F6 y F7) tuvo un trabajo excelente en la máquina y se comportaron de manera similar a F1. La sustitución simple con HN en porcentajes de 5 y 10 % fue aceptable, con un cambio en la característica de la masa observándose más pesada y poco

quebradiza. Las sustituciones combinadas presentaron un comportamiento diverso, se observa que conforme se incrementa el % de sustitución disminuyen las propiedades de facilidad de maquinado de la masa, F8 a menor % de HSD y HN se comporto de manera similar a F1. Para F11 y F12 la facilidad fue regular se observo una masa ya más pesada y compacta.

En la Tabla No. 10 se muestra el comportamiento de las masas y la evaluación realizada por los jueces semi-entrenados.

Tabla No. 10. Facilidad de maquinado de masas con HMN, HN y HSD.

Formulación	Facilidad de maquinado
1,5,6,7,8	Excelente
2,3	Muy buena
9,11,12	Regular
4,10,13,14,15,16	Deficiente

6.2.3.1. Selección de masas viables para procesamiento industrial. Una vez que se evaluaron las propiedades tecnológicas en masas, se seleccionaron las formulaciones que son procesables por la tortilladora y pueden continuar el proceso de fabricación, en este caso resultaron las siguientes formulaciones: 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 8.

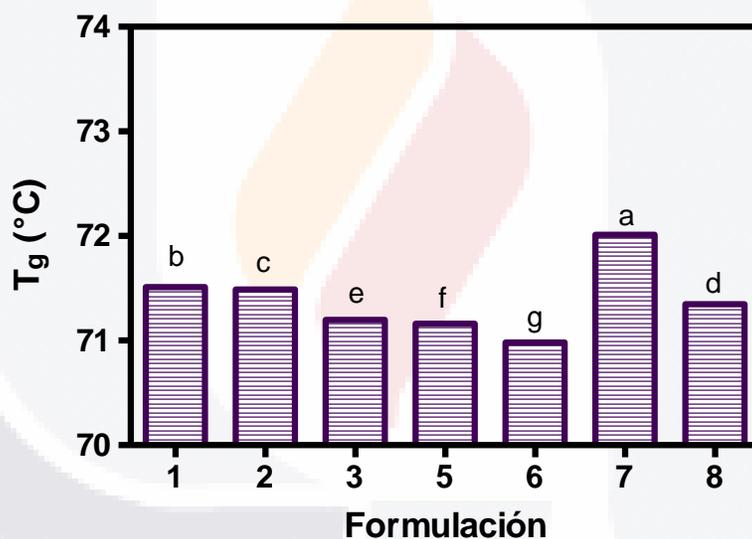
El objetivo de esta selección, fue distinguir las formulaciones viables para continuar con las evaluaciones de diferentes parámetros que influyen en operaciones posteriores como: precocción, deshidratado y freído.

6.2.4. Propiedades térmicas

La técnica analítica de calorimetría diferencial de barrido, por sus siglas en ingles DSC, es una herramienta muy útil y más utilizada para seguir *in situ* el proceso de

gelatinización. Pueden tener diversos usos en la aplicación de nuevos procesos, pero también permiten la predicción y mejoramiento de la calidad del producto, seguridad y estabilidad en el almacenamiento (Pascale, *et al.*, 1999). El calor específico (c_p) es utilizado como un parámetro termodinámico altamente utilizado en determinaciones de transferencia de calor y balances de energía.

Las formulaciones presentan diferencias significativas (Figura No. 49), la temperatura de gelatinización para la muestra testigo (F1) de 71.5 °C, la sustitución con HN disminuye la temperatura de gelatinización debido a la poca presencia de almidón que tiene, y conforme se incrementa esta temperatura disminuye debido a que no hay almidón para gelificar.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$)

Figura No. 49. Temperatura de gelatinización en pico de las diferentes formulaciones.

La HSD disminuyó la temperatura de gelatinización del 4 al 5 % de sustitución (F5 a F6) pero la temperatura se incrementó con el 6 % de sustitución (F7) pues la HSD presenta un 14.8 % del almidón. Li *et al.*, 2007, observaron que en mezclas de almidón de maíz y concentrados de maíz, la muestra con almidón de maíz

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

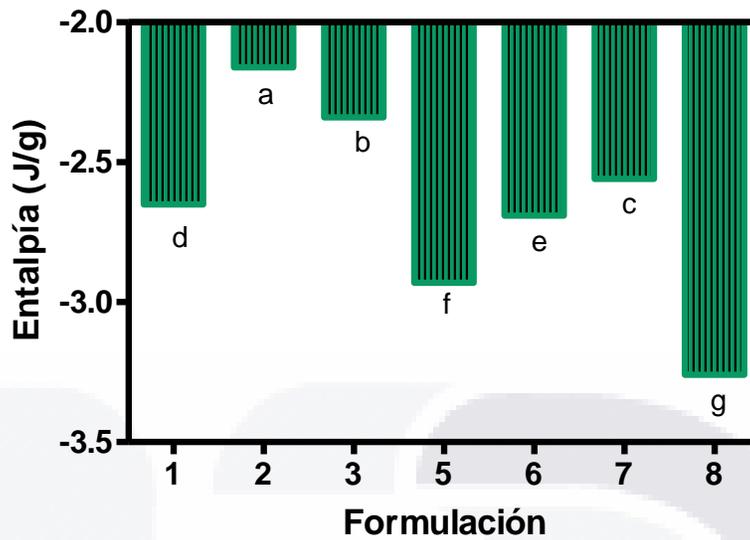
registraron menores picos de temperatura (70°C) comparado a las muestras con concentrado de proteína de soya (73.5°C).

Kayacier A. and R.K. Singh, 2002, encontraron que el T_g determinado para totopos horneados a partir de harina de maíz nixtamalizado fue de 59 a 76 °C, y encontraron que los rangos de la temperatura de transición vítrea se incrementa con el incremento de la temperatura de horneado y tiempos largos de horneado.

Li *et al.*, 2007, reportaron que las características de gelificación de la proteína de soya afecta la textura de los productos, además que se han adicionado almidones a geles de proteína para la reducción de costos y el mejoramiento de la textura.

El procesamiento de alimentos involucra tratamientos de calentamiento o enfriamiento de los materiales de diversas composiciones sobre diversos rangos de temperaturas. Gönül Kaletunç (2007).

La figura No. 50, muestra la entalpía presentada en las diferentes formulaciones, la variación de entalpía expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$)

Figura No. 50. Entalpía de las diferentes formulaciones.

Las formulaciones presentan diferencias significativas, la entalpía para la muestra testigo, la sustitución con HN disminuye de DH debido a la poca presencia de almidón que tiene, y conforme se incrementa esta temperatura disminuye debido a que no hay almidón para melificar.

La HSD disminuye la entalpía del 4 al 5 % de sustitución (F5 a F6) pero la temperatura se incrementa con el 6 % de sustitución (F7) pues la HSD presenta un 14.8 % del almidón. Se observa que a mayor sustitución de HSD se incrementa DH. Atributos de calidad como textura, estabilidad y sabor descendido de los alimentos son afectados por estas propiedades (Noel, *et al* 1990).

Bello-Pérez *et al.*, (2002) evaluaron los comportamientos de masas a partir de harinas de maíz nixtamalizado y masas de nixtamal, encontrando valores de entre 70.7 y 73.6.°C y valores para entalpía de 3.9 y 2.3 J/g respectivamente para dos tipos de harina de maíz nixtamalizado. La entalpía de gelatinización fue más alta en las masas, y la masa testigo tuvo el valor mayor, lo cual indica que las condiciones controladas en el laboratorio producen una masa con menor grado de

gelatinización que las empleadas en las tortillerías. Valores bajos de entalpía de gelatinización (en las HMN) sugieren condiciones de procesamiento más severas, porque un tratamiento térmico drástico produce gelatinización del almidón con mayor grado de desorganización; por esta razón, al tratar las muestras en el calorímetro diferencial de barrido sólo se encontró una endoterma pequeña. Además, los valores mucho más bajos de la entalpía en las HMN indican que como resultado de las condiciones de procesamiento, el almidón está más gelatinizado que en las masas.

La viscosidad de las formulaciones se observó tiene una correlación negativa con los valores de entalpía ($r=-0.91$). La característica de gelado de la proteína de soya afecta la textura de los productos, combinando proteína de soya y almidón puede ser una método atractivo para el desarrollo de nuevos productos (Li *et al.*, 2007) Generalmente la mezcla de estos dos componentes ayuda a reducir costos y mejorar la textura.

6.2.5. Propiedades de viscosidad

El RVA es un instrumento que determina las propiedades viscosas de almidón cocido, granos, y otros alimentos El RVA (rapad visco analyzer) es una técnica termo analítica en la que la diferencia de calor entre una muestra y una referencia es medida como una función de la temperatura. El principio básico subyacente a esta técnica es que, cuando la muestra experimenta una transformación física tal como una transición de fase, se necesitará que fluya más (o menos) calor a la muestra que a la referencia para mantener ambas a la misma temperatura. El que fluya más o menos calor a la muestra depende de si el proceso es exotérmico o endotérmico. Por ejemplo, en tanto que una muestra sólida funde a líquida se requerirá que fluya más calor a la muestra para aumentar su temperatura a la misma velocidad que la de referencia. Esto se debe a la absorción de calor de la muestra en tanto ésta experimenta la transición de fase endotérmica desde sólido a líquido. Por el contrario, cuando la muestra experimenta procesos exotérmicos

(tales como una cristalización) se requiere menos calor para alcanzar la temperatura de la muestra. Determinando la diferencia de flujo calorífico entre la muestra y la referencia, los calorímetros DSC son capaces de medir la cantidad de calor absorbido o eliminado durante tales transiciones.

En la siguiente gráfica No. 51, se muestran las viscosidades de las diferentes muestras tratadas. La viscosidad se ha hecho útil en proveer información inicial para la aplicación de novedosos alimentos (Reilly 1994; Bryant *et al.*, 2001; Singh 2001). RVA es usado ampliamente para caracterizar las propiedades *pasting* del almidón en granos y alimentos procesados (Whalen *et al.*, 1997; DesRochers 1998; Bryant *et al.*, 2001).

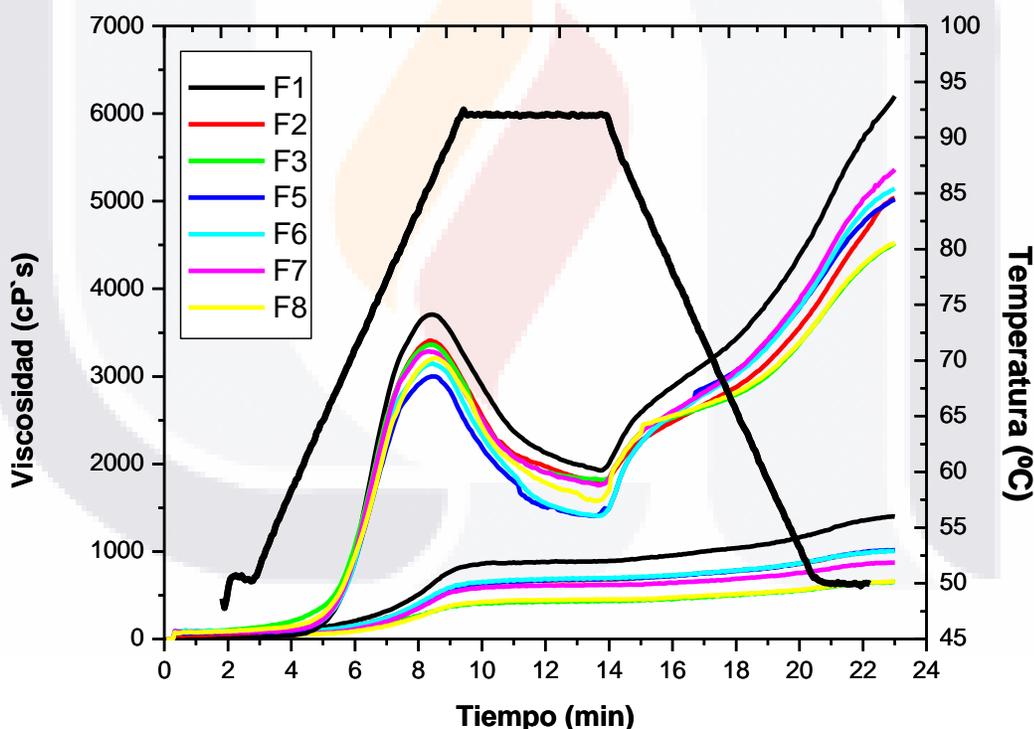


Figura No. 51. Perfil de viscosidad para formulaciones en harina y en totopos.

La viscosidad pico (V_p) del testigo se incremento alrededor de 3500 cP's, las formulaciones con sustituciones, redujeron ese valor alrededor de 3000 cP's, esto

debido a que la fracción almidonosa se redujo con la sustitución de HN y HSD. La Vp se correlaciono con la CAA ($r=0.97$), mientras que el contenido proteico tuvo una relación negativa a Vp ($r=-0.98$).

La temperatura de la Vp (Tp) fue de 74.1 °C. Las formulaciones con HN incrementaron a 71.8 y 71.4 °C para F2 y F3; mientras que la HSD la redujo a 68, 69 y 79 °C para F5, F6 y F7 respectivamente.

Se observa que todas las sustituciones de HSD y HN en la formula tradicional disminuyen la viscosidad máxima. Entonces la sustitución cambia las propiedades funcionales en las masas. La Vp se relaciono con la viscosidad final (Vi) ($r=0.95$) de las formulaciones en harina.

Para la determinación de la viscosidad en totopos se observa en la figura de perfil de viscosidad que no se presento un pico en la viscosidad, solo se tuvo un incremento sostenido hasta Vf, se observa que entre el minuto 8 y 10 aumento la viscosidad de forma notoria. El testigo en totopo se comporta similar a la harina, presentando mayor viscosidad que el resto de las formulaciones superando los 1000 cP's. La Tp se observo a 56 °C para el testigo, y para el resto de las formulaciones entre 50 y 53 °C.

La viscosidad máxima se incrementa en forma inversamente proporcional con el tamaño de partícula (Fernández-Muñoz *et al.*, 2005; Sahai *et al.*, 2001), en la gráfica se observa que la viscosidad para la sustituciones de HSD es inversamente proporcional al tamaño de partícula, a mayor cantidad de harina con menor tamaño de partícula (4, 5 y 6 %) mayor viscosidad pico y viscosidad fina.

La HN se comparta de manera similar, comparado a la soya , en donde entre menor es la sustitución, la viscosidad se reduce proporcionalmente. La viscosidad final se relaciono con la consistencia (PrMAx) ($r=0.91$).

Otro aspecto por lo cual desarrollan menor viscosidad es debido a que la fibra influye y hay menor cantidad de almidón comparada con las harinas del proceso tradicional.

Sahai (2001) y Fernández-Muñoz *et al.*, 2005 observaron que la viscosidad máxima en harinas de maíz nixtamalizado se incrementa en forma inversamente proporcional con el tamaño de partícula.

La viscosidad de la harina de nopal aparentemente es reducida por la temperatura de deshidratación (75-80°C), ya que afecta el contenido de mucílago, lo que alteraría la viscosidad de los fluidos. Lecaros (1997) comenta que este comportamiento podría ser incrementado con la proporción de harina adicionada en los alimentos.

Para botanas de maíz las harinas nixtamalizadas deben de quedar menos cocidas comparadas con las harinas nixtamalizadas para tortilla, esto se debe que en el proceso tradicional se desechan la parte del pericarpio en forma soluble con el exceso de cal y agua llamado nejayote, por lo que debe influir la cantidad de pericarpio en el desarrollo de viscosidad y el tipo de enlace que no deja formar viscosidad y la formación de gel; otra razón es la competencia de agua debido a que pericarpio puede ser modificado químicamente al pasar de fibra insoluble a soluble y competir por agua. La fibra influye en la formación de la gelatinización del almidón debido a que interfiere como rompedor de gelificación.

De igual forma en la grafica No. 51 se muestra como la viscosidad del testigo, conformado solo por HMN, permanece mayor que las de las muestras restantes.

Cuando son sometidas a la cocción en comal y al horneado por infrarrojo los viscoamilogramas desarrollan poca viscosidad y comienza a desarrollarse la retrogradación, lo cual se observó claramente en las harinas provenientes de las totopos fritas, debido a que el viscoamilograma de esta harina no esta definido el

almidón en las otras harinas, esto es debido al gran daño que sufre además de la expansión que sufre al ser frita con aceite de soya.

6.3. CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTO PRECOCIDO Y DESHIDRATADO

El producto precocado se define como las piezas de masa, que han sido precocidas, los objetivos de este tratamiento son: el sellamiento de ambos lados de los testales para la solidificación y desarrollo de la textura final de la pieza, precocción de la parte interna del testal, posterior enfriado con la finalidad de que esas piezas no permanezcan calientes y al momento de la recolección se adhieran unas a otras. En este proceso las temperaturas influyen en la formación del gel, el proceso de gelatinización debe alcanzar la totalidad del almidón. Y se necesita llegar a las temperaturas máximas de gelificación descritas en propiedades térmicas.

La precocción ayuda a fijar el gel e influirá en la absorción y textura del producto final. Esto ayuda a conformar una estructura estable y compacta que evitará la deformación y al momento de la evaporación del agua libre durante el freído un colapso de las estructura.

El producto deshidratado se define como las piezas de precocidas de totopos que se someten a un proceso de desecación (solar) o deshidratación (instrumental) por medio de la eliminación de agua del producto hasta reducir porcentajes de humedad de 20 %. No existe un mínimo de X_w requerido durante el deshidratado, pues es variable dependiendo del tipo de producto final que se desea, si se quiere un totopo con más aceite el deshidratado será mínimo, caso contrario a un totopo con poca aceite, la humedad residual tendrá que ser mínima.

6.3.1. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades evaluadas con respecto a los objetivos generales y específicos descritos anteriormente es la humedad, debido a que este parámetro influye en la cantidad de aceite que será absorbida en el freído, entre mayor humedad contenida, mayor aceite absorbido. Muchos son los factores que son conocidos que afectan la absorción de aceite. Incluidos la gravedad específica o el contenido de humedad (Adambounou & Castaigne, 1981; Gamble & Rice, 1987; Makinson *et al.*, 1987; Varela *et al.*, 1988), superficie del alimento en contacto con el medio de freído (Adambounou & Castaigne, 1981; Greenfield *et al.*, 1984; Gamble & Rice, 1987; Makinson *et al.*, 1987; Varela *et al.*, 1988) tiempo de freído (Pravisiani & Calvelo, 1986) temperatura de freído (Varela, 1977; Van Zeddemann, 1981), número de ciclos de freídos (Varela *et al.*, 1988) ingredientes en los alimentos (sólidos, humedad, grasa y proteína) porosidad y tratamientos previos al freído (secado, blanqueado).

En la figura No. 52, se muestran las formulaciones mencionadas en el punto anterior, al final de la etapa de precocción, deshidratado solar y deshidratado infrarrojo, se observaron las siguientes características fisicoquímicas:

Se observa el contenido final de humedad (X_w) en las 7 formulaciones que pudieron pasar a la etapa de precocción porque presentaron una facilidad de maquinado aceptable; la reducción es considerable en masas a totopos, se presentó un valor de X_w en masas de alrededor del 50.0 %, un valor promedio de 35.3 % para producto precocido; Almeida- Dominguez *et al.*, 1996, obtuvieron valores de entre 30-40.

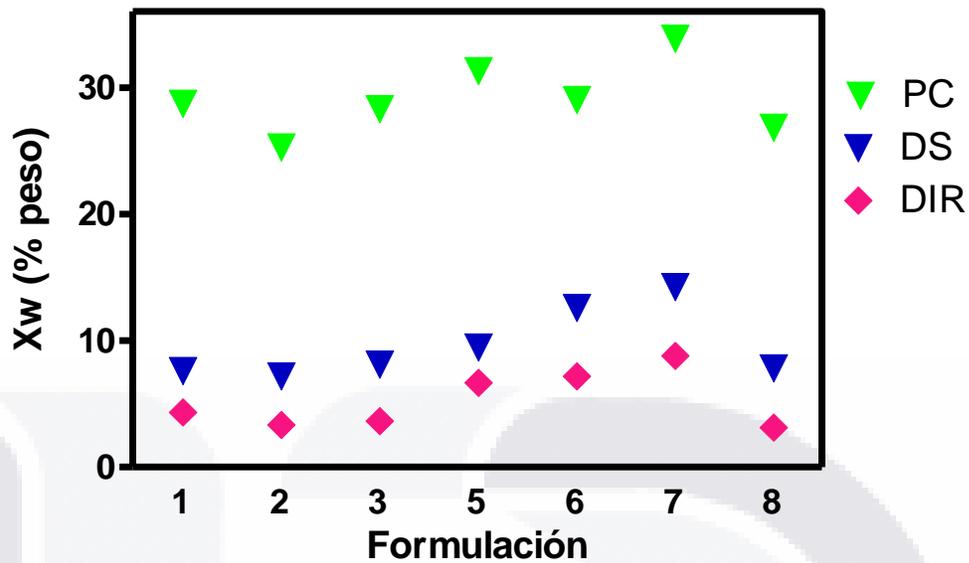


Figura No. 52. Humedad (%) de producto precocido (PC) , deshidratado solar e infrarrojo DS (deshidratado solar); DIR(deshidratado infrarrojo)

El tratamiento de precocido logro reducir en un 15 % el contenido de humedad, el cocimiento de dos comales alcanza temperaturas de 200°C por 1 minuto. La perdida de humedad es menor que en el freído debido a varias factores entre ellos la humedad inicial de la masa, la temperatura inicial de la masa, el cocimiento de los lados del testal (pieza cruda de masa, laminada y cortada) en lapsos diferentes, la temperatura de los comales de 200°C con una estancia total de 60 segundos en el precocido, y su inmediato enfriado dentro de la misma máquina por 60 segundos, por el contrario la humedad antes del freído ya es muy baja. De hecho la mayor perdida de humedad se da durante el deshidratado.

Una vez recolectado el producto precocido, se sometió a un deshidratado parcial, debido a que el contenido de humedad (Xw) todavía es elevado y eso conlleva una mayor absorción de aceite durante el freído. Se aplicaron dos tratamientos el deshidratado solar o tradicional (DS) y el deshidratado infrarrojo (DIR).

El tratamiento de deshidratado a temperatura ambiente se realiza para lograr la mayor pérdida de humedad, logrando alcanzar niveles del 14 % (Lusas, 2001) antes de someter el producto al freído, esto debido a que implica una reducción en

la cantidad de aceite absorbido por la pieza, consecuentemente una vida de anaquel mas amplia y una reducción del costo total, pues el aceite es el insumo más costoso en la industria de las botanas y *snacks*. Se obtuvieron valores de humedad del 3.22 %(F8).

El deshidratado infrarrojo logra reducir hasta en un 50 % la humedad del deshidratado tradicional, esto se logro mediante un tratamiento con ondas infrarrojas reduciendo el tratamiento de 35-45 minutos del tradicional a 3 minutos de estancia en el horno de deshidratado infrarrojo.

El deshidratado infrarrojo reduce en promedio en un 5.51 ± 2.8 % X_w con respecto ala X_w en producto precocido y el deshidratado solar reduce a un 9.44 ± 2.5 % el contenido de humedad en los totopos. Logrando reducir un 4 % más el deshidratado infrarrojo.

Estructuras amorfas y parcialmente cristalinas son formadas durante diversas operaciones en el procesamiento de alimentos como: extrusión, horneado, concentración y deshidratación; por lo tanto los productos horneados y deshidratados sufren una transición vítrea (Roos *et al.*, 1996)

Las coordenadas de color (Figura No. 53), se observa un aumento en la luminosidad (L^*), con respecto al producto en masa. De igual forma a medida que se incrementa la concentración de nopal (5-15%) se tiene un descenso en la luminosidad (L^*). El valor de croma (C^*) se incremento conforme se incrementaron los porcentajes de sustitución con HN, debido a que la coordenada tiene por indicativo el color verde (a^*), pero este valor fue menor comparado al valor presentado en masa. La presencia de soya no afecta significativamente al color siendo similar a la formulación testigo, tanto en producto precocido como en masa. Con respecto a^* , las formulaciones precocidas que contienen nopal redujeron el efecto mayormente acusado de tonalidad amarillo, que el presentado en masas.

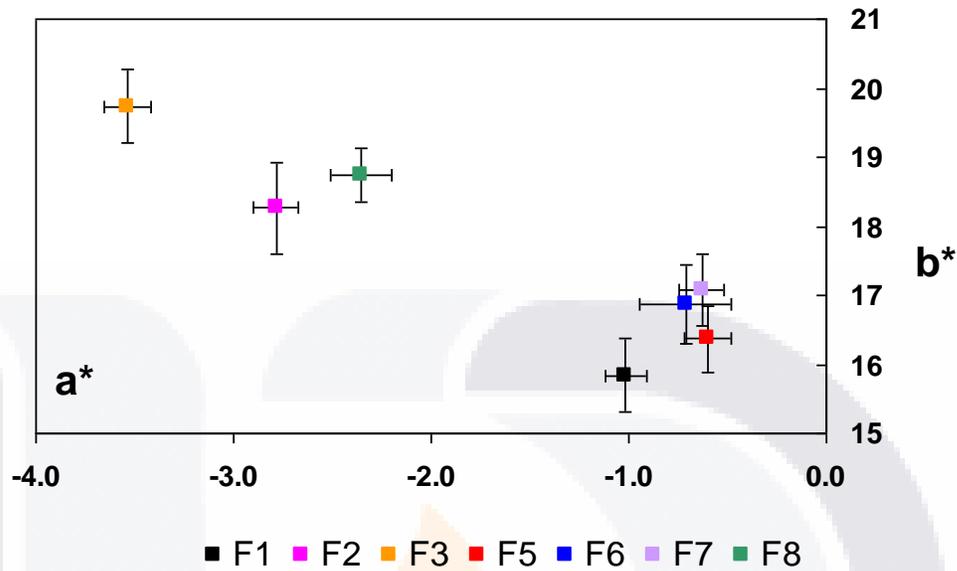


Figura No. 53 Plano Cromático a* vs. b* de producto precocido

6.4. CARACTERIZACIÓN DE TOTOPOS

Las formulaciones que lograron ser maquinales y fueron evaluadas como muy buenas y excelentes en la propiedad tecnológica de facilidad de maquinado, se evaluó las propiedades térmicas, viscosas, fisicoquímicas y mecánicas. A continuación se detallan dichas propiedades.

6.4.1. Propiedades de fisicoquímicas

A continuación se muestran las formulaciones mencionadas ya como producto terminado (precocido, deshidratado, freído, enfriado y empacado) y las características fisicoquímicas que presentaron.

Se observa como la a_w se redujo considerablemente, para F1 en masas $a_w = 0.982$, comparado a F1 de producto terminado $a_w = 0.176$. Esto debido a

múltiples factores como: el precocido de masas en la tortilladora, el enfriado en la tortilladora , el deshidratado y el freído.

En la Figura No. 54 se muestra más claramente la influencia de los tratamientos térmicos a los que fueron sometidos las muestras. Esta gráfica comparativa presenta una ligera reducción de a_w entre masas y producto precocido pues ambos valores no cambian, es después del freído donde se presenta una drástica reducción en a_w , en un promedio de $a_w = 0.154$ de producto terminado contra $a_w = 0.978$ en masas, esto debido al severo tratamiento térmico en el freído que alcanza 190°C por un periodo de 20 segundos aproximadamente.

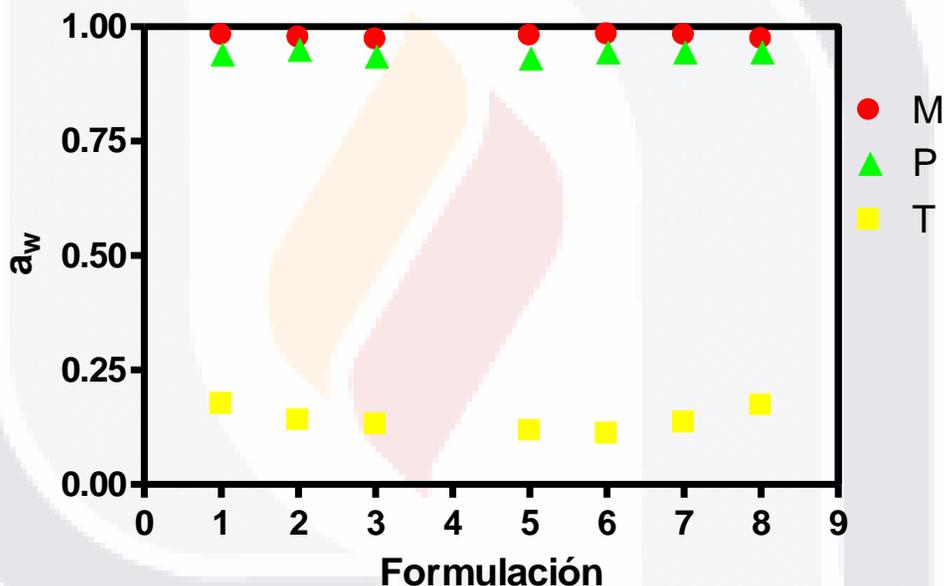


Figura No. 54. Actividad de agua (a_w) en masas, producto precocido y terminado. M(masas); P (producto precocido); T (totopo).

En la figura No. 55 se observa el contenido final de humedad (X_w) en las 10 formulaciones que pudieron pasar a la etapa de precocción porque presentaron una facilidad de maquinado aceptable; la reducción es considerable en masas a totopos, se tuvo un valor de X_w en masas de alrededor del 50.0 %, un valor promedio de 35.3 % para producto precocido y para producto terminado un porcentaje promedio de 1.2; Almeida- Dominguez *et al.*, 1996, obtuvieron valores

de entre 30-40 % en la precocción y de 1.5-2.5 % en producto terminado, en la elaboración de frituras de maíz. El tratamiento de precocido logro reducir en un 15 % el contenido de humedad, el cocimiento de dos comales alcanza temperaturas de 200°C por 1 minuto. La perdida de humedad es menor que en el freído debido a varias factores entre ellos la temperatura inicial de la masa, el cocimiento de los lados del testal (pieza cruda de masa, laminada y cortada) en lapsos diferentes, la temperatura de los comales de 200°C con una estancia total de 60 segundos en el precocido, y su inmediato enfriado dentro de la misma máquina por 60 segundos.

El tratamiento de deshidratado a temperatura ambiente se realiza para lograr la mayor pérdida de humedad, logrando alcanzar niveles del 14 % (Lusas, 2001) antes de someter el producto al freído, esto debido a que implica una reducción en la cantidad de aceite absorbido por la pieza, consecuentemente una vida de anaquel mas amplia y una reducción del costo total, pues el aceite es el insumo más costoso en la industria de las botanas y *snacks*.

Almeida- Dominguez *et al.*, 1996 observaron para producto terminado un porcentaje promedio de de 1.5-2.5 % en producto terminado, en la elaboración de frituras de maíz. En la Figura No. 32 se muestran las perdidas de humedad promedio en cada tratamiento aplicado a lo largo del proceso: masa, precocido, deshidratado solar e infrarrojo y freído.

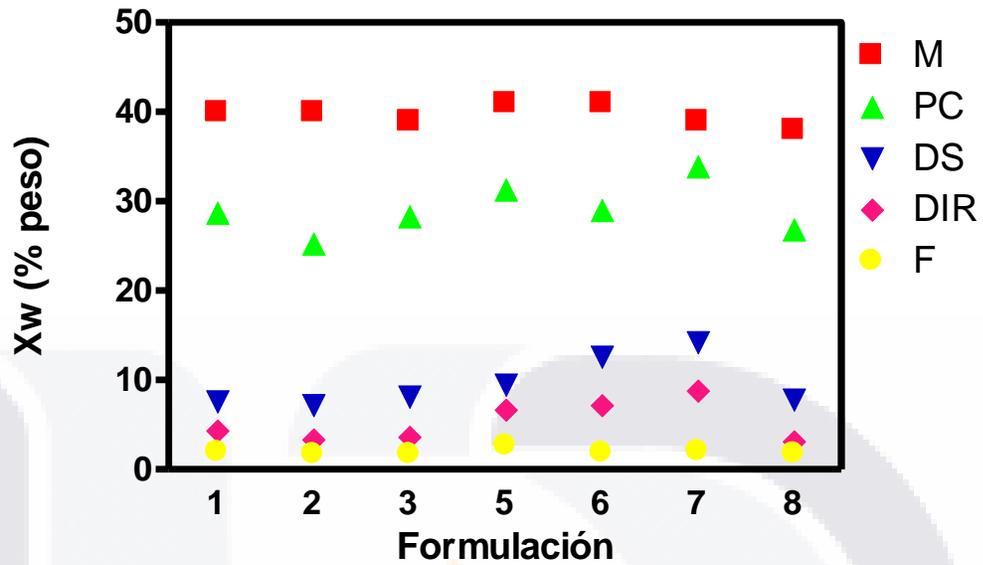


Figura No. 55. Humedad(X_w) de formulaciones con los diferentes tratamientos. M (masa); PC (totopo precocido); DIR (totopo deshidratado infrarrojo); DS(totopo deshidratado solar); F (totopo frito)

En la figura se observa la pérdida de humedad promedio por cada tratamiento aplicado a las muestras: masa, precocción, deshidratado solar e infrarrojo y freído.

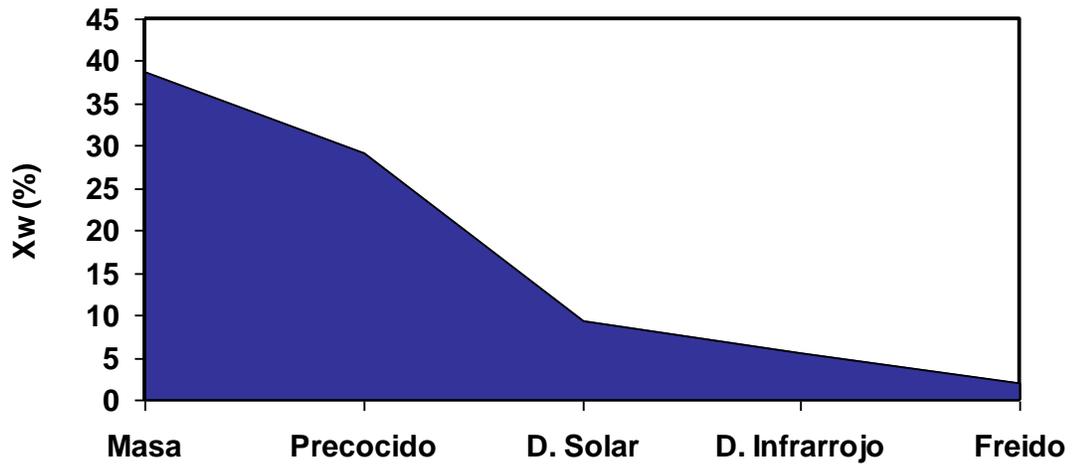


Figura No. 56. Pérdida de Humedad(X_w) en los diferentes tratamientos aplicados

Se observa que la mayor pérdida y muy importante es la del tratamiento de precocción al producto deshidratado. Este tratamiento fue reducido en tiempo: de 45 minutos a 3 minutos; y en humedad: el deshidratado por ondas infrarrojo logro reducir en un 81.5 % la humedad del producto precocido con respecto a un 68.5 % del deshidratado tradicional. Además de eliminando situaciones dependientes en el deshidratado como el lugar, el clima, la estación del año, etc.

El color de producto terminado se midió por reflexión con un espectrocolorímetro (Figura No.57) , este perfil da un drástico cambio comparado con masas y producto precocido, las formulaciones de agrupan, la luminosidad (L^*) se reduce ganando tonalidades grises (valor de L^* 0= blanco y valor 100= negro), con menor luminosidad, a^* se desplaza a valores positivos (+) que aportan el color rojo y b^* incrementa los valore positivos (hacia tonalidades amarillas) comparado con masas y producto precocido. Estos tres factores tendencia grisácea, color rojo y amarillo es el color característico de los productos fritos de maíz, es decir un color tostado. La tonalidad final de los productos fritos, es variable y depende del alimento, del color del alimento, y la tonalidad final característica a la que se desea llegar.

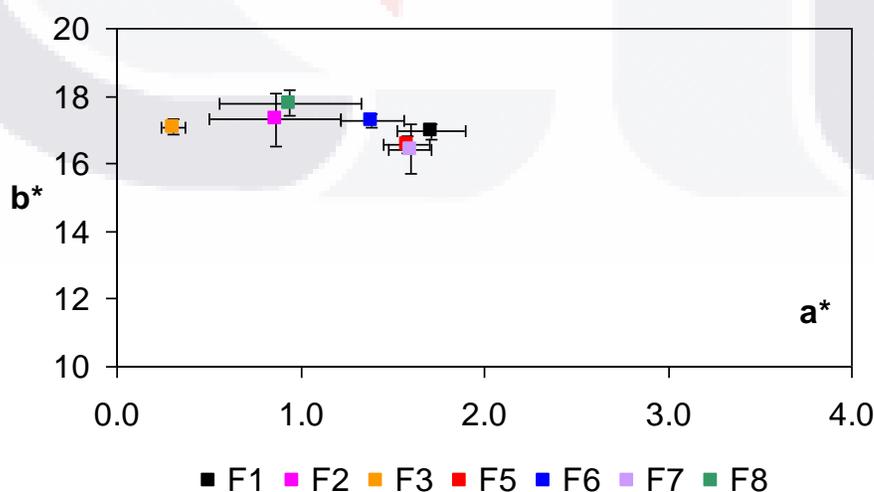
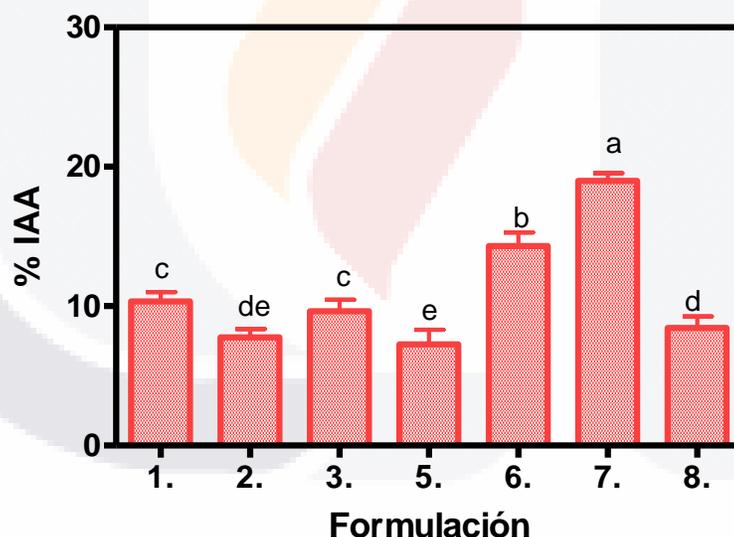


Figura No. 57. Plano Cromático a* vs. b* de producto terminado

En el eje a* se observa las formulación de mayor sustitución de HN (F3) seguida hacia el eje derecho las comulación con menor sustitución de HN (F2 y F8). En un grupo se distinguen las formulaciones de HSD (F5, F6 y F7) con el control , como se presento en los producto anteriores. Se observa que la tonalidad verde se redujo y el grupo de HN se acerco al fina a las tonalidades amarillas con el grupo restante.

6.4.2. Índice de Absorción de aceite

La Gráfica No. 58, nos muestra la capacidad de absorber aceite, por parte del material. Se observa que la HN disminuye esta absorción. Esto posiblemente a la parte insoluble de la fibra del nopal. Se observa también que conforme se incrementa el % sustitución se incrementa ahí actúa la parte soluble de la fibra del nopal.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$)

Figura No. 58. Absorción de aceite en producto terminado.

Por su parte la HSD ($P < 0.001$), ejerce un aumento apreciable en el contenido de absorción del aceite, esto debido probablemente a la fuerte capacidad de las

proteínas para ligar agua. En combinación con la HN la absorción permanece baja.

La absorción de aceite tiene una correlación con la crujencia en el producto final ($P < 0.001$).

En la industria sobre todo pequeña o artesanal, estos valores varían en un 25 a 35 %, lo que implica un gran gasto de aceite y un aumento en el costo del producto. En este trabajo se registran valores de 7.25 % de absorción; Véles, 2004 registro valores mínimos de 9 % mediante la utilización de un proceso integral de nixtamalización con maíz azul.

En la gráfica No. 59 se observa la influencia de la HN en la absorción de aceite. A un 5 % de sustitución se reduce IAA, pero con forme se incrementa HN a 10 % , se incrementa el IAA en un 1 %, esto posiblemente a que se observo un incremento en CAA y X_w , para la misma situación, es posible que la parte soluble de la fibra contenida en HN incremente estos parámetros que a su vez incrementan el IAA, a una menor sustitución 5% el IAA es inferior que el testigo debido probablemente a que la fracción sustituida de fibra insoluble es mayor (2/3) y haya evitado la absorción de aceite.

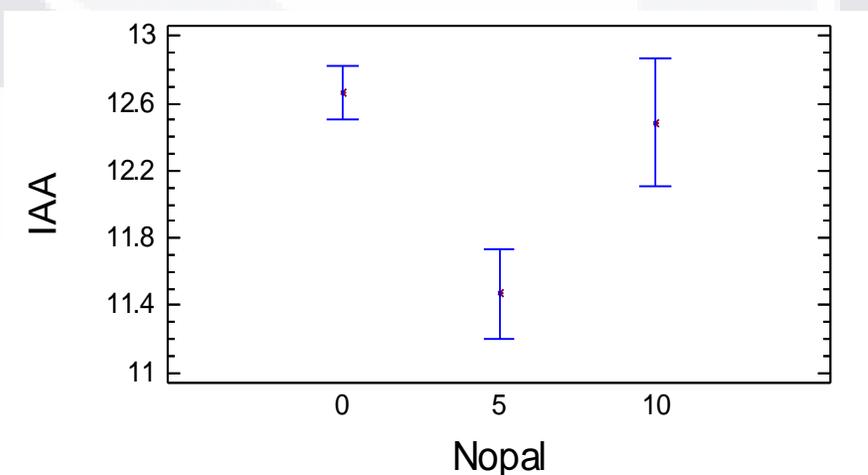


Figura No. 59. Influencia de HN en la absorción de aceite.

En la gráfica No. 60 se presenta el IAA influenciado por la HSD, notablemente el incremento de la sustitución en un 1 % incrementa el IAA de forma considerable. Al igual que CAA y Xw, se presento un incremento en estos valores. Es posible que el efecto de las proteínas y su capacidad de hidrofílica altere dichos parámetros.

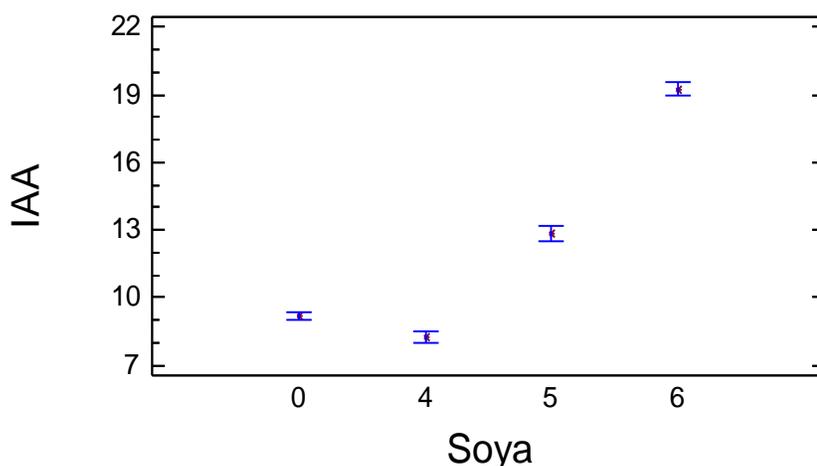
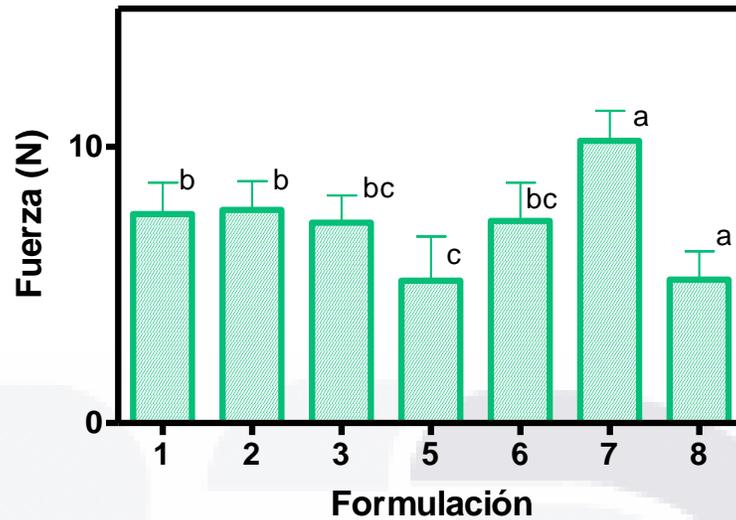


Figura No. 60. Influencia de la HSD en la absorción de aceite.

La contenido proteico del totopo tiene una relación con el contenido de grasa final del totopo ($r=0.99$).

6.4.3. Crujiencia

La crujiencia se midió mediante la deformación del material hasta la fractura, utilizando un cilindro simulando la mordedura de diente. En la gráfica No. 61 se muestra la textura y los cambios con la sustitución de HSD y HN en la elaboración de totopos.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$)

Figura No.61. Crujiencia en totopos

Se observa que hubo diferencias significativas en los tratamientos, por su parte el nopal, entre mayor fue la sustitución menor fuerza requirió para la fractura la pieza, en cambio la soya demostró un aumentos considerable en la fuerza para los incrementos que hubo de un 1 % ($P < 0.001$). La combinación de soya y nopal redujo esta fuerza.

El aumento de la dureza del material, puede se debido a las proteínas de la soya, que incrementan la cohesión de la masa, por las interacciones proteína-almidón.

El nopal se comporto similar al testigo, la parte de la fibra puede aportar suavidad. Véles (2004) encontró valores similares para la crujiencia para tostadas con maíz rojo elaboradas en el proceso integral y tradicional (No. de patente nacional 210991 y emitida en el año 2002).

En la figura No. 62 y 63 se observa la influencia de HN y HSD en la crujiencia. La HN disminuyo el fuerza requerida para la fractura del totopo. Probablemente a que

la mayor presencia de aceite hace menos duro el material. Ambos productos sustituidos registraron valores menores al testigo.

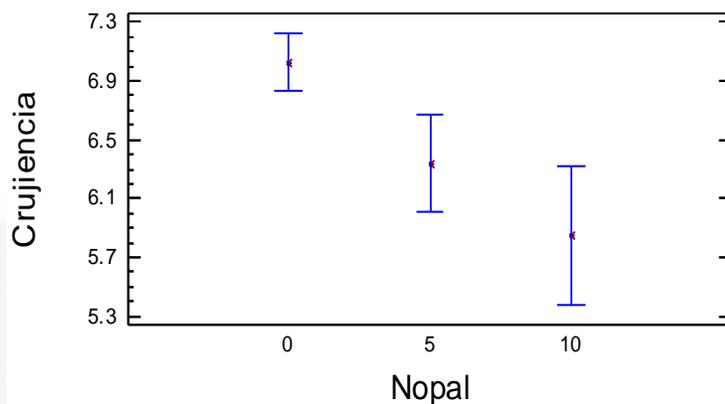


Figura No. 62. Influencia de la HN en propiedad mecánica.

La HSD por su parte incremento los valores de crujiencia con relación al incremento de la sustitución, a pesar de que el índice también se comporto similar, posiblemente la presencia de proteínas a parte de ligar agua, conforme estructuras más solidad y compactas con los gránulos de almidón.

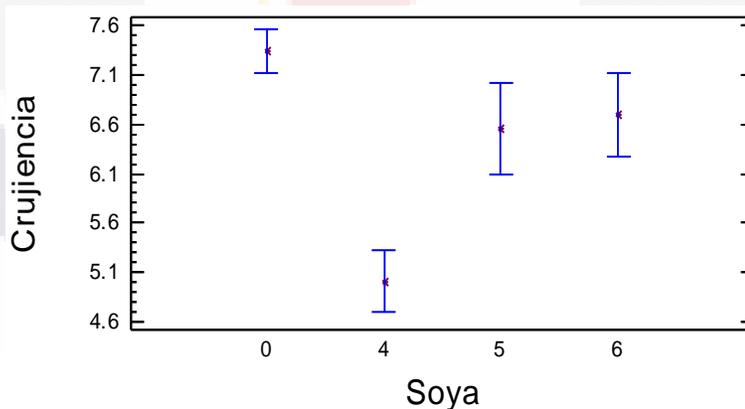


Figura No. 63. Influencia de la HSD en la crujiencia

En la figura No. 64, se muestra la relación entre en IAA y la crujiencia. La absorción de aceite puede influir en la textura de frituras, debido a que las grasas son aportadores de suavidad en los alimentos. Cuatro formulaciones F2, F3, F5 y

F8 presentan la menos absorción de aceite comparado con el testigo y menor fuerza para fracturar la pieza.

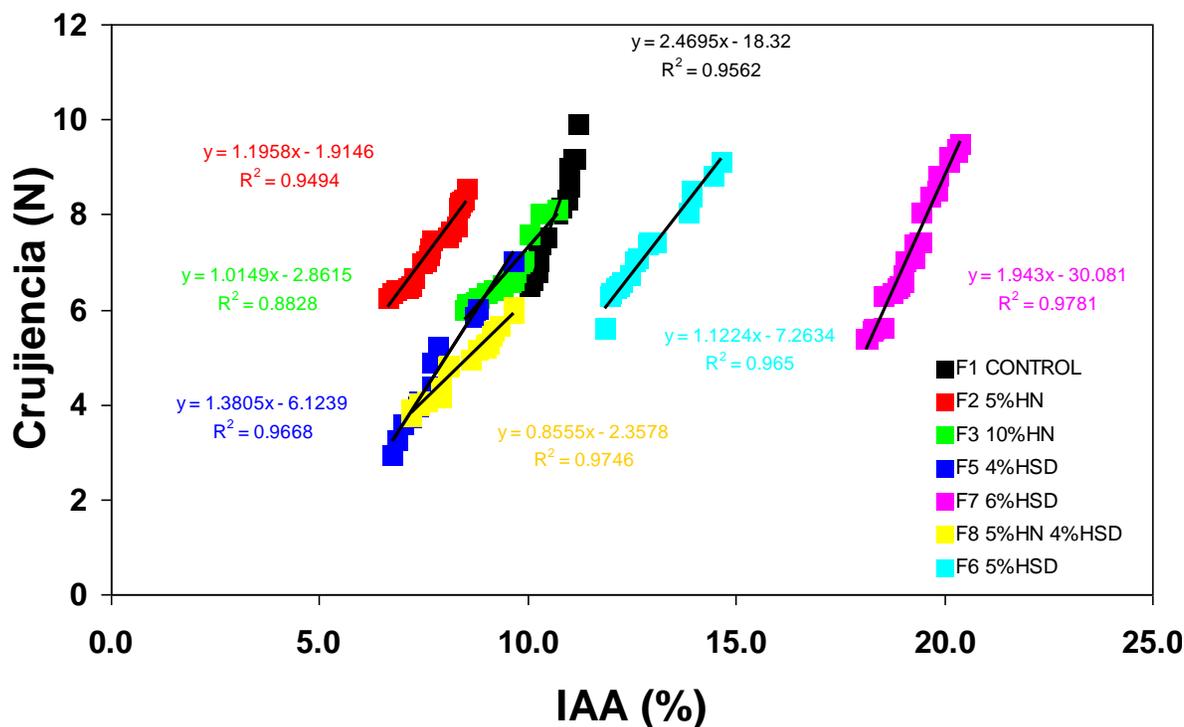


Figura No. 64. Correlación entre parámetros de crujiencia vs. IAA

Esta gráfica responde a la hipótesis planteada sobre que la influencia de las propiedades químicas y mecánicas de la sustitución de harinas no convencionales en el proceso de fabricación de totopos de maíz nixtamalizado.

Por una parte se observa la relación existente entre IAA y crujiencia, y resaltando que en las sustituciones de HSD aunque absorbieron más aceite la crujiencia no se vio disminuida, posiblemente a la alta interacción de las proteínas y la formación de estructuras complejas y fuertemente ligadas.

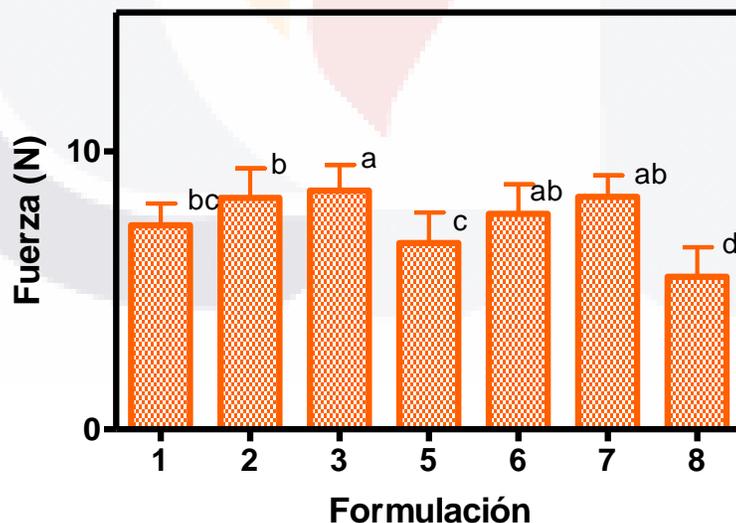
La HN logra disminuir la IAA, al menor porcentaje de HN, recordando que posiblemente la parte soluble influye en el incremento de la absorción a mayor sustitución.

F2, F3, F5 y F8 logran reducir la absorción de aceite y la crujencia con respecto al control (F1), logrando mejorar las características de reducción de aceite y crujencia.

La implementación de harinas no convencionales en el proceso de fabricación de totopos de maíz nixtamalizado influyen en las características químicas, fisicoquímicas, térmicas, reológicas, tecnológicas, estructurales y mecánicas, de los productos intermedios y finales desarrollados durante el proceso tradicional y alternativo.

6.4.4. Plasticidad y Elasticidad

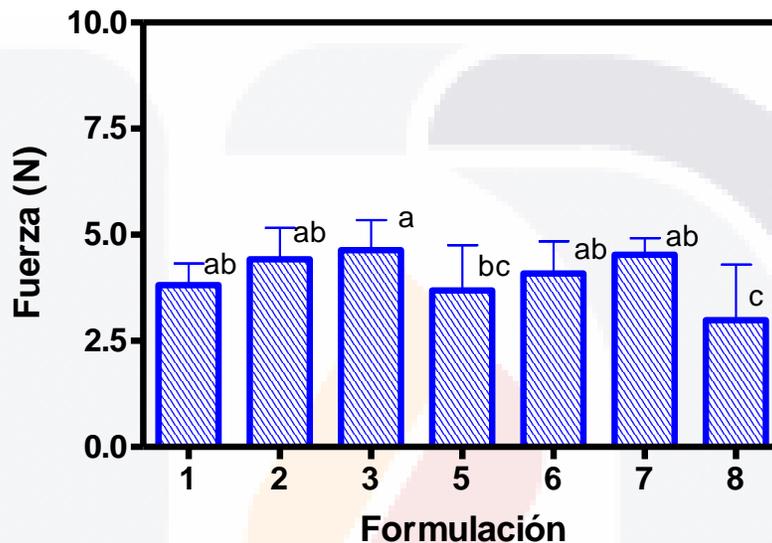
En las Figuras No. 65, 66 y 69, se muestra el trabajo empleado para la deformación, la penetración y expulsión de la punta respectivamente por parte del material.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$)

Figura No.65. Área total bajo la curva.

El trabajo total indica la cantidad de fuerza requerida para penetrar y expulsar el material, las letras diferentes muestran diferencia significativas. Se observa que hay un incremento de la fuerza para el incremento en nopal y soya. Esta prueba es muy independiente a la crujiencia, aunque tiene un comportamiento similar a la crujiencia, aunque el nopal.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$)

Figura No.66. Trabajo plástico determinado.

La parte plástica se ve influenciada por el contenido de agua o aceite en los materiales, el área es mayor, pues los contenidos de estos dos ingredientes es mayor a el contenido de proteínas, Se incrementa con forme se incrementa la sustitución, en la gráfica se observa que la fibra tiene mayor influencia que la soya en la plasticidad del material.

En las Figuras No. 67 y 68 se observa la influencia de HN y HSD en el trabajo sobre la parte plástica del material

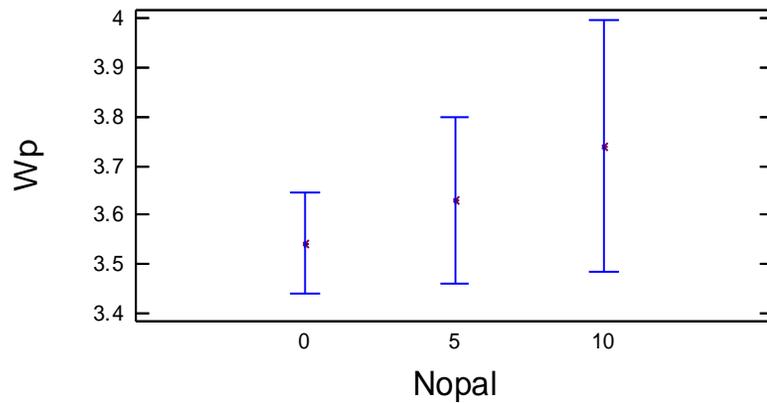


Figura No. 67. Influencia de la HN en el trabajo plástico de totopos.

La influencia de HSD en el trabajo plástico se muestra en la Figura No. 68, las proteínas son las encargadas de proporcionar elasticidad en el material, en este caso la parte plástica es influenciada por el contenido de agua y aceite entre otros, pero la mayor absorción de aceite de presente con la mayor sustitución de las proteínas.

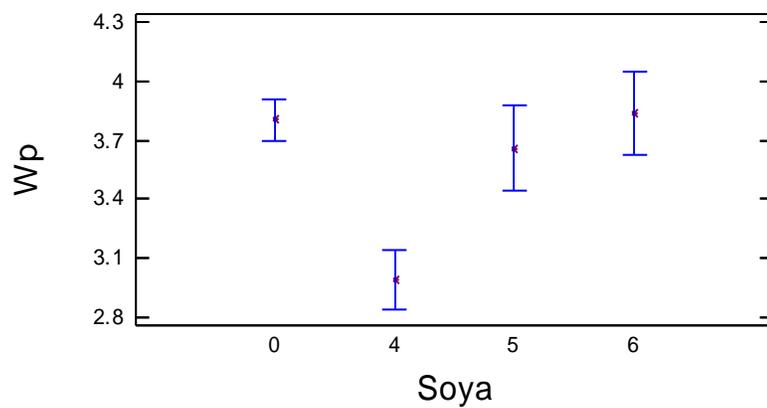
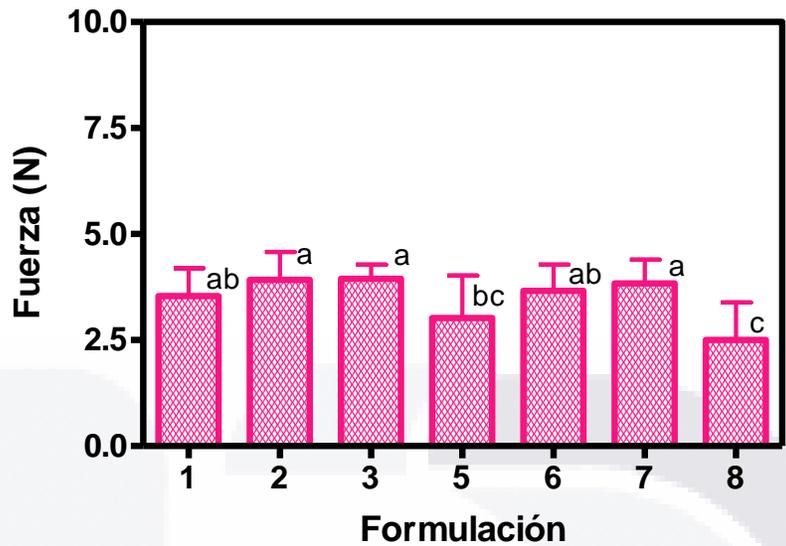


Figura No. 68. Influencia de la HSD en el trabajo plástico de totopos.

En la figura No. 69 se muestra el trabajo elástico presentado en las diferentes formulaciones de totopos.



Medias seguidas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P<0.05)

Figura No.69. Trabajo elástico determinada.

La parte elástica, esta influenciada por las proteínas, y se observa como incrementa, tan solo con el 1 % de incremento en la sustitución de HSD, la parte elástica de los materiales en las formulaciones 5,6 y 7. Por su parte la fibra parece también aportar una parte elástica al material.

Se observa en las figura no. 66 y 69 que en general la parte elástica fue menor que la parte plástica, esto podría ser debido que el contenido de aceite y agua, es mayor en el material que la cantidad de proteínas adicionadas.

En la Figura No. 70 se observa la influencia de HN en la parte elástica y su incremento en relación al porcentaje de sustitución en el totopo.

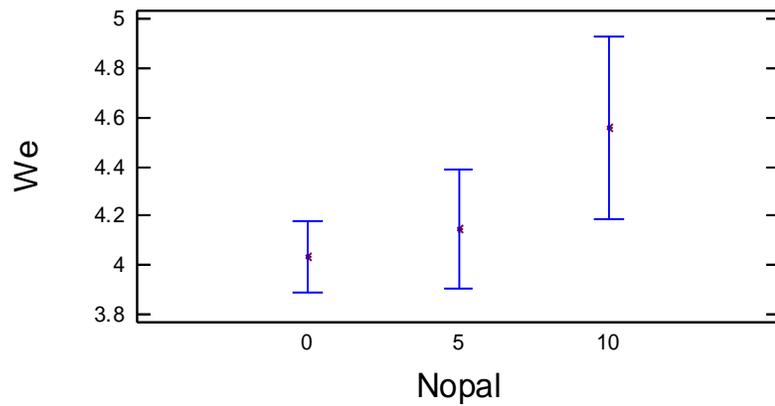


Figura No. 70. Influencia de la HN en el trabajo elástico de topos.

La influencia de HSD en el trabajo plástico se muestra en la Figura No. 74, las proteínas son las encargadas de proporcionar elasticidad en el material, y al incremento de HSD se incrementa la parte elástica.

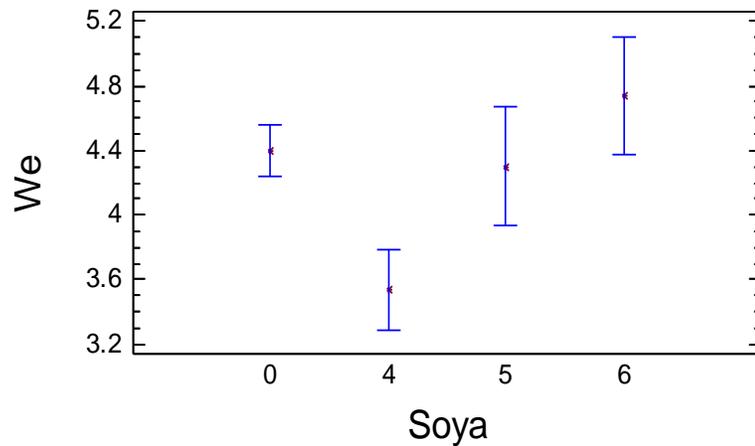


Figura No. 71. Influencia de la HSD en el trabajo elástico de topos.

6.4.5. Composición química de topos de maíz nixtamalizado deshidratados por radiación infrarrojo

En la Figura No. 72 se presenta la composición proteica, lipídica y de fibra del topo tradicional comparado con las formulaciones desarrolladas.

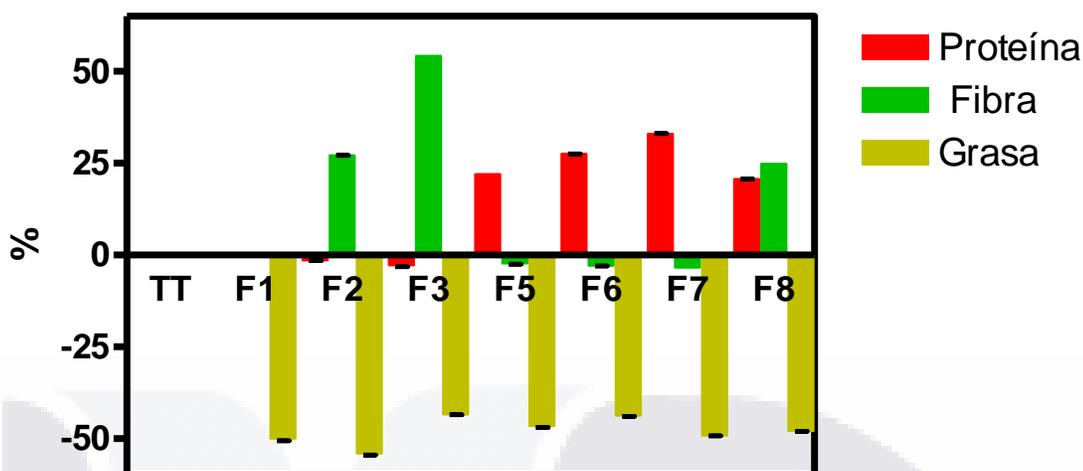


Figura No. 72. Incremento porcentual de las formulaciones desarrolladas vs. Totopo Tradicional (TT).

Incrementos con respecto al totopo tradicional (Deshidratado solar contiene un 26.6 % de grasa (Lujan-Acosta, 1997). Se observa que el testigo (F1) presentó una reducción de casi el 50 % de grasa, y las demás formulaciones tuvieron un comportamiento similar.

El contenido final de fibra se vio incrementado hasta un 50 % de fibra, y el incremento de proteína hasta un 30 %.

6.4.6. SEM

En las siguientes figuras, se observan diversas tomas de superficie y corte transversal de los materiales.

En la figura No. 73 se muestran la superficie de 3 formulaciones de totopo, en el a) el control se aprecian gránulos del almidón, y diferentes tamaños de fibra derivados de las granulometrías usadas de HMN. En F2 la presencia de nopal y menor granulometría de parte de HN es observada. F3 muestra también la fina granulometría de HSD, y su distribución homogénea en masa.

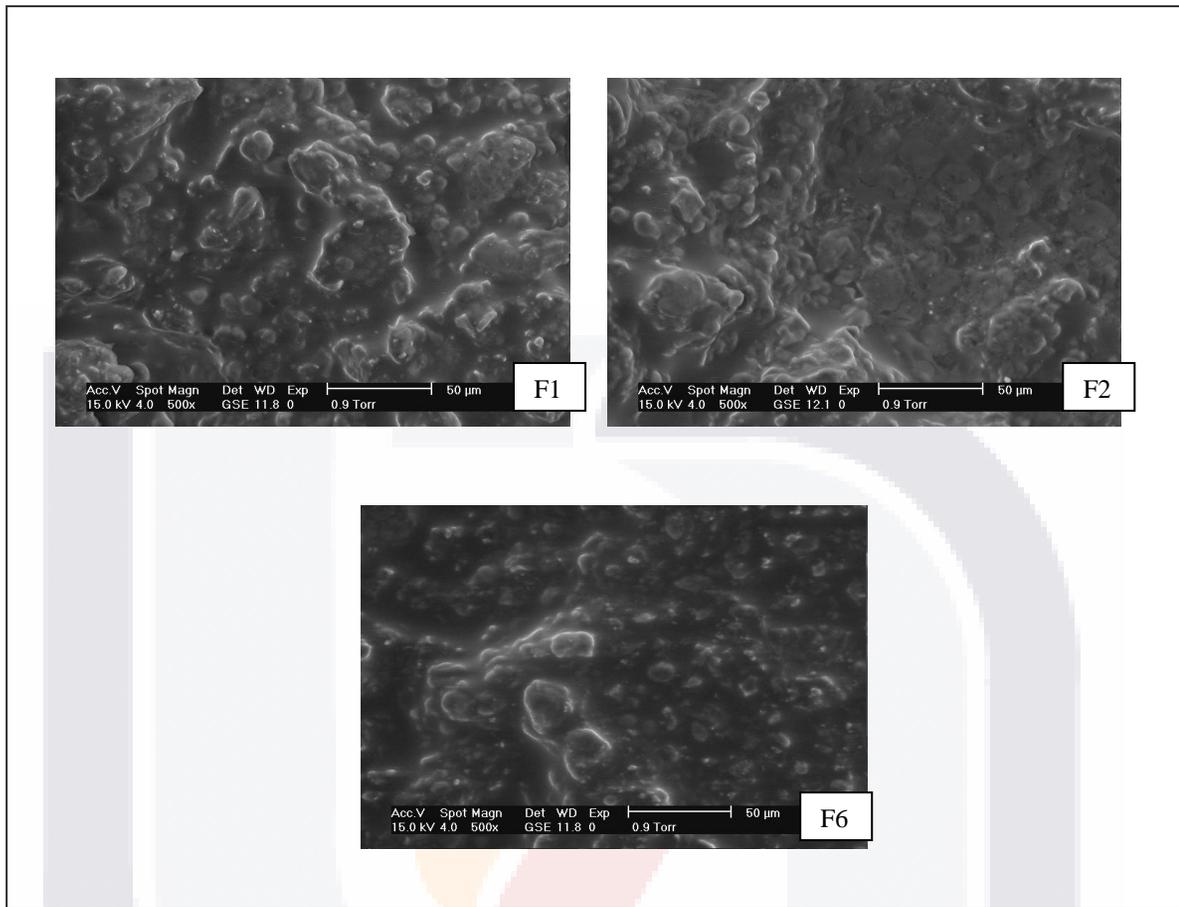


Figura No. 73. Vista de superficie F1, F2 y F6.

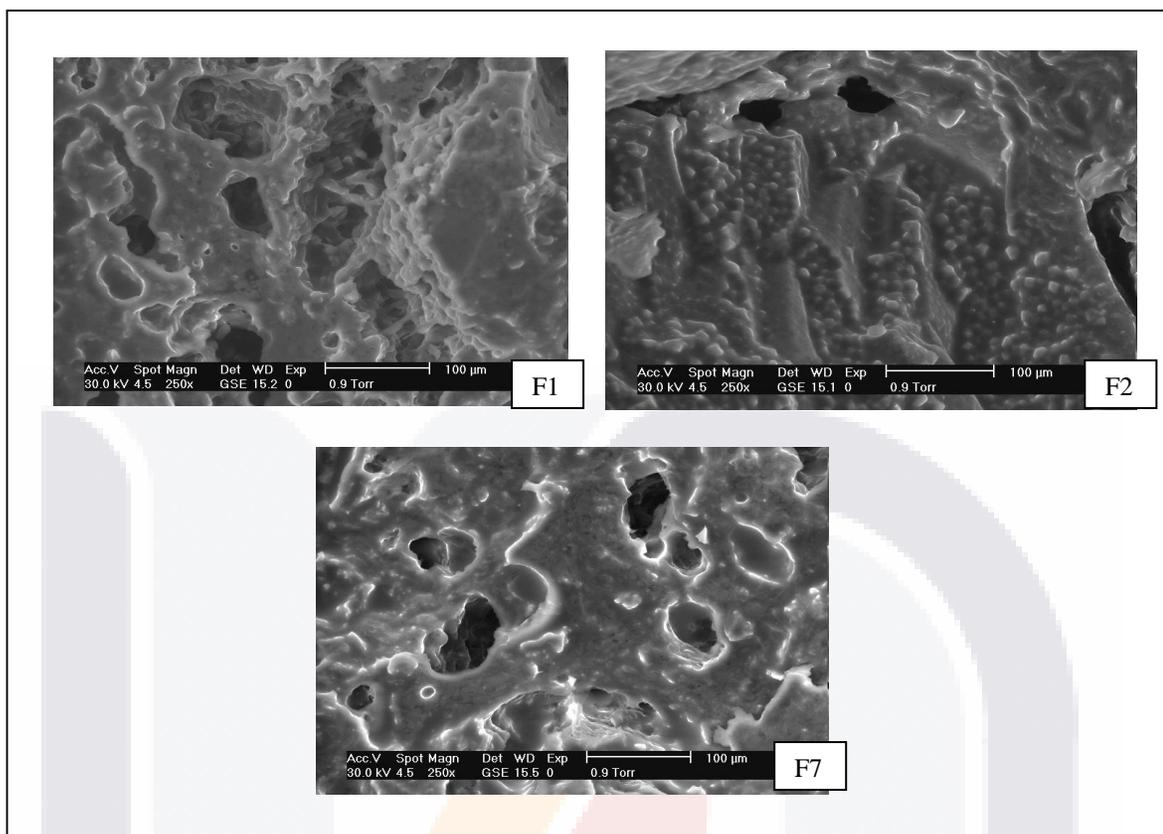


Figura No. 74. Corte transversal F1, F2 y F7.

En F1 y F7 se muestra, las cavidad donde el agua estaba encapsulada antes del freído, y que el cocimiento desarrollo por medio del vapor de agua producido por el calentamiento del agua. Se observa también que F7 es más compacta que F1, posiblemente logrado por la cohesión de las proteínas, ligeros glóbulos posiblemente polisacáridos de la fibra de HMN que no se disuelven.

En F2 se observan glóbulos que retienen agua, probablemente los polisacáridos de la fibra no se desdoblén, por un lado en forma de partículas pequeñas de tamaño uniforme y por otro en partículas tubulares, incrustadas en el material.

Li *et al.*, 2007 observaron microestructuras similares a F7, ya que combinaron concentrado de proteína de soya y almidón de maíz, reportaron como conforme

se incrementa la temperatura 25, 68, 72, 74, 76 y 100 °C, ocurren cambios estructurales: en los que el almidón primero embebe la matriz proteica del concentrado para posteriormente los gránulos de almidón enlazarse con la red formada y en la gelatinización el almidón gelatinizado desplaza las proteínas creando hoyos en la red proteica.



CONCLUSIONES

Del presente trabajo realizado podemos concluir que la implementación de harinas no convencionales: HN y HSD, en el proceso de fabricación de totopos de maíz nixtamalizado influyen en las características químicas, fisicoquímicas, térmicas, reológicas, tecnológicas, estructurales y mecánicas, de los productos intermedios y finales desarrollados durante el proceso tradicional y alternativo.

La sustitución de HNM por HSD y HN en el proceso tradicional de elaboración de frituras de maíz (totopos) presentan un incremento en el contenido nutrimento, partiendo en que la harinas iniciales sustituidas, presentan mayores contenidos de proteína y fibra que son muy notables comparados a los contenidos de HMN que se utiliza tradicionalmente. Cabe destacar que la sustitución de HMN por HN y HSD también proporcionara un menor contenido de grasa total en las masas y productos finales, y un aumento significativo además del aporte proteico y de fibra.

No se tiene referencia de la utilización de HN, en el proceso de elaboración de frituras de maíz, por lo que los porcentajes empleados se realizaron de acuerdo a algunos utilizados en la elaboración de tortillas, cabe mencionar que las características fisicoquímicas, reológicas y tecnológicas son completamente diferentes para estos dos productos.

Con respecto a la HSD, se observo que se empleo dentro del rango utilizado y obtenido en otros estudios en tortilla (Rooney *et al.*, 1997; Figueroa *et al.*; 2001) debido a que en porcentajes mayores al 8 %, cambian las características reológicas y tecnológicas que harían muy deficiente su procesamiento,

adicionalmente en las propiedades sensoriales se pueden registrar cambios no deseados en el producto final.

El tamaño de partículas en las harinas alteró los valores reológicos, la capacidad de absorción y solubilidad de agua. La HN y HSD con sus aportes de fibra soluble y proteínas respectivamente modificaron la humedad y actividad de agua en masas.

Por un lado la HN con los porcentajes más altos de la sustitución 5, 10 y 15 % pudieron influir en la CAA y a_w notablemente. En cambio para la HSD con los porcentajes mas pobre de sustitución 4,5 y 6 % modificaron los valores notablemente en la CAA, parámetros reológicos de consistencia y alveografía.

De manera concreta le influencia de HSD y HN en las formulaciones se observo de la siguiente manera:

- ✓ Influencia de la fibra en ISA, a_w y consistencia.
- ✓ Influencia de las proteínas en la a_w , y propiedades reológicas: tenacidad y trabajo de deformación.
- ✓ Influencia del tamaño de partícula de las harinas en la CAA y ISA
- ✓ Influencia del nopal en el plano cromático, con tonalidades verdes.

La sustitución simple de 4,5 y 6 % de soya, presenta facilidad de maquinado similar al testigo (100% harina de maíz). Las sustituciones combinadas con 5 y 6 % de soya con 10 y 15 % de nopal, no son aptas para ser procesadas. El incremento de 1 % de sustitución de soya afecta considerablemente las propiedades tecnológicas. Y la sustitución del 15 % de HN, resulta totalmente deficiente en las facilidad de maquinado de masas. Las sustituciones totales menores al 10 % en masas destinadas para frituras son aptas para ser procesadas.

La viscosidad de las formulaciones se vio disminuida comparado al testigo, esto posiblemente porque la HMN es una harina pregelatinizada y con mayor fracción almidonosa que HN y HSD. Este pretratamiento térmico como tal no se realiza en el proceso de producción de HN, que se obtiene mediante el deshidratado de hojas de nopal y nos ayuda a disminuir el mucílago que podría afectar negativamente la reología de masas y por ende la facilidad de maquinado. El comportamiento más notable fue el de HSD, se observó conforme aumentaba el porcentaje de sustitución incrementaba la viscosidad.

Las propiedades térmicas fueron alteradas por la HSD y HN con respecto al control, se observaron cambios en Tg y DH con forme se incrementaban los porcentajes de sustitución los valores de gelatinización y entalpía de modifican con respecto al control, resaltando de igual forma la diferencia del contenido de almidón en las tres harinas empleadas..

Los parámetros fisicoquímicos se comportan de forma parecida en masa y producto precocido, pero presentan un cambio sustancial en el deshidratado solar, infrarrojo y después del freído.

Se logro disminuir la humedad previo al freído con el deshidratado por infrarrojo, en un casi en un 50 % con respecto al deshidratado solar o tradicional. Además de una considerable e importante reducción de tiempo de 45 min a temperatura ambiente a 3 minutos en deshidratado por ondas infrarrojo. La reducción de aceite del tratamiento de deshidratación infrarrojo es considerable con respecto al deshidratado solar.

De manera concreta la influencia de HSD y HN en las evaluaciones de propiedades tecnológicas se observó de la siguiente manera:

- ✓ La sustitución simple de 4,5 y 6 % de soya, presenta facilidad de maquinado similar al testigo (100% harina de maíz).

- ✓ Las sustituciones combinadas con 5 y 6 % de soya con 10 y 15 % de nopal, no son aptas para ser procesadas.
- ✓ El incremento de 1 % de sustitución de soya afecta considerablemente las propiedades tecnológicas.
- ✓ Y la sustitución del 15 % de HN, resulta totalmente deficiente en las facilidad de maquinado de masas.
- ✓ Las sustituciones totales menores al 10 % en masas destinadas para frituras son aptas para ser procesadas.
- ✓ Los parámetros fisicoquímicos se comparten de forma parecida en masa y producto precocido, pero presentan un cambio total en el producto terminado.

Los totopos sometidos al deshidratado infrarrojo disminuyeron considerablemente la absorción de aceite hasta en un 50 % comparado con el deshidratado solar. Para el deshidratado infrarrojo este tuvo correlación con la crujencia, solo dos formulaciones sobre pasaron el IAA del testigo, las sustituciones del 5 y 6 % de HSD; las restantes disminuyeron la IAA de los totopos. Con respecto a la crujencia fue aceptable para todos los tratamientos igualando o disminuyendo el valore registrado por F1.

Este parámetro es importante ya que la grasa, las proteínas y posiblemente la fibra pudieron haber alterado de manera negativa la crujencia del producto, pero eliminando las sustituciones F6 y F7 para centrarnos en los objetivos de este proyecto 5 sustituciones: F1, F2, F3, F5 y F7 lograron incrementar los contenidos de fibra y proteína, además de disminuir el IAA y la grasa total del totopo.

Las propiedades de textura, tuvieron correlación W_t , W_e y W_p ($P < 0.001$) además de la crujencia y la absorción de aceite. Los tratamientos se vieron influenciados por HSD y HN.

Finalmente, podemos concluir que la inclusión de harina de nopal y harina de soya desgrasada en el proceso alternativo de totopos, influye de forma satisfactoria en la calidad nutrimental del producto, incrementando el contenido proteico y de fibra, además de reducir notoriamente la cantidad de grasa en el producto terminado, subrayando que se presentan cambios sustanciales en propiedades evaluadas en masas, producto precocido, producto deshidratado y producto terminado.



ANEXO I

Tabla No. 11. CAA y ISA
de formulaciones base de HMN, HN y HSD

F*	CAA	ISA
1	6.51 ±0.16 ^b	19.25 ±1.180 ^a
2	6.56 ±0.060 ^b	9.63 ±0.360 ^{cd}
3	6.76 ±0.157 ^{ab}	13.26 ±0.296 ^a
4	6.82 ±0.176 ^{ab}	17.68 ±0.296 ^a
5	6.53 0.158 ^b	4.77 ±0.056 ^g
6	6.72 ±0.150 ^{ab}	6.57 ±0.660 ^{fg}
7	6.49 ±0.125 ^b	9.13 ±0.99 ^{cde}
8	6.82 ±0.170 ^{ab}	7.84 ±0.100 ^{def}
9	6.73 ±0.190 ^{ab}	7.87 ±0.010 ^{def}
10	6.86 ±0.148 ^{ab}	10.76 ±0.219 ^{bc}
11	6.59 ±0.239 ^b	6.59 ±0.518 ^{fg}
12	6.98 ±0.187 ^{ab}	6.30 ±1.145 ^{fg}
13	7.21 ±0.028 ^a	8.16 ±0.24 ^{efg}
14	6.57 ±0.219 ^b	6.93 ±0.85 ^{efg}
15	6.75 ±0.160 ^{ab}	7.91 ±1.01 ^{def}
16	6.80 ±0.388 ^{ab}	7.71 ±1.03 ^{efg}

letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

*Formulación; CAA (capacidad de absorción de agua); ISA (índice de solubilidad de agua)

Tabla No.12. Parámetros fisicoquímicos de masas

F*	a _w *	T*	X _w *	L*	a*	b*
1	0.982±0.01 ^{ef}	24.4	0.50±0.01 ^{ab}	75.4±1.8 ^a	-0.31±0.1 ^a	20.5±0.6 ^h
2	0.977±0.01 ^d	24.1	0.50±0.01 ^{ab}	67.4±2.1 ^{cd}	-3.14±0.2 ^b	22.3±0.8 ^{fg}
3	0.973±0.01 ^{ab}	24.1	0.48±0.01 ^{ab}	64.0±1.4 ^{ef}	-4.0±0.4 ^c	23.71±0.4 ^{ed}
4	0.973±0.01 ^{abc}	24.2	0.50±0.01 ^b	61.3±2.0 ^g	-4.5±0.1 ^d	24.6±0.8 ^{bcde}
5	0.986±0.01 ^f	24.3	0.52±0.01 ^b	76.8±0.8 ^a	-0.46±0.1 ^a	21.1±0.6 ^{gh}
6	0.984±0.01 ^{ef}	24.5	0.49±0.02 ^a	74.5±0.9 ^a	-0.27±0.1 ^a	21.04±0.7 ^h
7	0.982±0.01 ^{ef}	24.5	0.48±0.01 ^b	74.8±0.6 ^a	-0.21±0.1 ^a	21.5±1.0 ^{gh}
8	0.986±0.01 ^{ef}	24.9	0.48±0.01 ^b	69.5±0.8 ^{bc}	-3.0±0.3 ^b	23.5±0.6 ^{ef}
9	0.972±0.01 ^a	24.0	0.48±0.01 ^b	65.3±1.5 ^{de}	-4.25±0.2 ^{cd}	25.1±0.7 ^{abc}
10	0.974±0.01 ^{abc}	24.3	0.49±0.01 ^b	63.7±0.7 ^{efg}	-5.1±0.2 ^e	26.3±0.5 ^a
11	0.980±0.01 ^{de}	24.3	0.50±0.01 ^{ab}	70.4±2.0 ^b	-3.3±0.2 ^b	23.4±0.7 ^{ef}
12	0.975±0.01 ^{abc}	24.2	0.50±0.01 ^{ab}	64.8±1.2 ^e	-4.2±0.2 ^{cd}	24.8±0.7 ^{bcd}
13	0.974±0.01 ^{abc}	24.3	0.50±0.01 ^{ab}	62.2±1.6 ^{fg}	-5.0±0.2 ^e	25.6±0.6 ^{bcd}
14	0.977±0.01 ^{bcd}	24.3	0.50±0.01 ^{ab}	69.4±1.7 ^{bc}	-3.2±0.1 ^b	23.7±1.0 ^{ed}
15	0.973±0.01 ^{abc}	24.3	0.49±0.01 ^{ab}	64.1±0.5 ^{ef}	-4.1±0.1 ^c	24.0±0.3 ^{cde}
16	0.975±0.01 ^{abc}	24.8	0.51±0.01 ^{ab}	61.3±1.5 ^g	-5.04±0.2 ^e	26.4±0.8 ^a

letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

Formulación; a_w (actividad de agua); T (temperatura °C); X_w (humedad); L (luminosidad), a* (tonos verdes), b* (tono amarillos)

Tabla No.13 Parámetros reológicos de masas

F*	P*	W*	P/L*	PrMax*
1	67.67±6.74 ^{bcde}	184.67±14.90 ^{cdef}	0.91±0.09 ^{bc}	562.0±48.1 ^{cd}
2	62.89±5.35 ^{de}	183.29±14.14 ^{cdef}	0.83±0.07 ^c	566.5±70.0 ^{cd}
3	64.83±5.46 ^{cde}	177.67±11.74 ^{def}	0.87±0.09 ^c	563.0±7.1 ^{cd}
4	56.67±4.03 ^e	170.17±16.12 ^{ef}	0.75±0.05 ^c	494.5±50.2 ^d
5	83.33±3.51 ^{ab}	222.33±18.23 ^{cdef}	1.08±0.05 ^{abc}	685.0±31.1 ^{ab}
6	82.25±4.92 ^{ab}	257.25±24.72 ^{abcd}	1.04±0.10 ^{abc}	694.0±21.2 ^a
7	96.5±13.6 ^a	318±28.58 ^{ab}	1.25±0.17 ^{ab}	657.0±12.7 ^{abc}
8	76.00±3.51 ^{bcde}	237.0±19.31 ^{cdef}	0.97±0.17 ^{bc}	581.5±6.4 ^{abcd}
9	74.0±16.97 ^{bcd}	328.75±18.08 ^a	1.38±0.48 ^a	581.0±32.5 ^{abcd}
10	67.50±6.63 ^{bcd}	229.6±19.17 ^{cdef}	0.82±0.13 ^c	558.0±38.2 ^{cd}
11	62.38±8.98 ^d	179.5±17.11 ^f	0.81±0.13 ^c	501.0±36.8 ^d
12	60.33±9.22 ^d	175.3±22.53 ^{ef}	0.81±0.12 ^c	569.5±44.5 ^{bcd}
13	60.25±3.30 ^d	201.00±22.02 ^{acdef}	0.81±0.05 ^c	510.5±55.9 ^d
14	63.67±6.74 ^d	241.0±21.28 ^{bcde}	1.48±1.48 ^{bc}	573.0±15.6 ^{bcd}
15	80.40±7.77 ^{ab}	173.67±29.26 ^{def}	1.30±0.76 ^{bc}	522.5±26.2 ^d
16	93.80±8.04 ^a	276.0±27.53 ^{abc}	1.23±0.13 ^{ab}	527.0±12.7 ^d

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

*P (mm) resistencia a la deformación o tenacidad P; W (10E-4 J) trabajo realizado para deformar la masa

PrMax (mb) presión máxima

La reproductividad se estima dentro de los valores: Coeficiente de variación W=± 8%, Coeficiente de variación P=± 8%, Coeficiente de variación L=± 5%

Tabla No.14. Parámetros fisicoquímicos de producto precocido

F*	a _w *	T*	X _w	L*	a*	b*
1	0.941±0.00 ^{bc}	24.9	28.83±0.02 ^b	83.74±0.5 ^a	-1.01±0.1 ^b	15.84±0.5 ^d
2	0.952±0.00 ^a	24.9	35.96±0.28 ^a	60.47±0.6 ^d	-2.78±0.1 ^d	18.26 ±0.6 ^b
3	0.937±0.00 ^{cd}	24.9	28.40±0.1 ^b	74.56±0.9 ^c	-3.53±0.1 ^e	19.73±0.5 ^a
5	0.933±0.00 ^d	24.9	33.12±2.3 ^a	83.38±0.5 ^a	-0.60±0.1 ^a	16.37±0.5 ^{cd}
6	0.946±0.00 ^b	24.8	29.12±0.00 ^b	83.1±0.6 ^{da}	-0.71±0.2 ^a	18.86±0.6 ^c
7	0.946±0.00 ^b	24.9	33.96±0.07 ^a	82.6±0.6 ^a	-0.62±0.1 ^a	17.06±0.5 ^c
8	0.946±0.00 ^b	25.0	26.93±0.25 ^b	78.41±0.9 ^b	-2.33±0.2 ^c	18.74±0.4 ^b

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

Formulación; a_w (actividad de agua); T (temperatura °C); X_w (humedad); L (luminosidad), a* (tonos verdes), b* (tonos amarillos)

Tabla No.15. Humedad (%) de producto deshidratado solar y por ondas infrarrojo

F*	X _{wi}	X _{ws}
1	7.70±0.29 ^f	33.0±0.1 ^{ab}
2	7.30±0.0 ^g	31.5±0.2 ^{ab}
3	8.23±0.7 ^d	31.5±0.2 ^{ab}
5	9.59±0.75 ^c	32.5±0.2 ^{ab}
6	12.68±1.12 ^b	33.5±0.0 ^c
7	14.32±0.0 ^a	33.1±0.0 ^{ab}
8	7.94±0.35 ^e	31.1±0.5 ^{ab}

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

*Formulación; X_{wi} (infrarrojo); X_{ws} (solar)

Tabla No.16. Coordenadas del plano cromático son deshidratado infrarrojo e infrarrojo

F*	L _i	a _i *	b _i *	L _s	a _s *	b _s *
1	70.55±0.94 ^b	1.71±0.18 ^a	16.96±0.22 ^a	79.2±1.39 ^a	-0.21±0.16 ^{ab}	12.67±0.25 ^d
2	61.94±0.45 ^c	0.86±0.35 ^c	17.31±0.78 ^{ab}	74.6±2.33 ^b	-0.2±0.14 ^b	14.36±0.51 ^{bc}
3	59.56±0.74	0.30±0.6 ^d	17.09±0.23 ^{ab}	68.8±3.09 ^c	-0.13±0.12 ^b	16.01±0.93 ^a
5	72.42±0.17 ^a	1.57±0.12 ^a	16.56±0.25 ^b	78.9±2.87 ^a	-0.06±0.09 ^{ab}	13.93±0.76 ^{cd}
6	72.87±1.28 ^a	1.39±0.16 ^{ab}	17.27±0.18 ^{ab}	79.4±2.15 ^a	-0.11±0.15 ^b	15.55±0.53 ^{ab}
7	71.94±0.49 ^{ab}	1.59±0.11 ^a	16.43±0.73 ^b	80.5±0.54 ^a	0.17±13 ^a	15.78±0.39 ^a
8	62.87±1.22 ^c	0.94±0.38 ^{bc}	17.80±0.38 ^a	73.8±2.4 ^{bc}	-0.19±0.14 ^b	16.34±1.30 ^a

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

Formulación; L (luminosidad), a* (tonos verdes), b* (tonos amarillos)
_i (deshidratado infrarrojo); _s (deshidratado solar)

Tabla No.17. Parámetros térmicos de formulaciones

F*	DH	T _g
1	-2.60±0.0 ^d	71.51±0.0 ^b
2	-2.16±0.0 ^a	71.49±0.0 ^c
3	-2.34±0.0 ^b	71.20±0.0 ^e
5	-2.93±0.0 ^f	71.16±0.0 ^f
6	-2.69±0.0 ^e	70.98±0.0 ^g
7	-2.56±0.0 ^c	72.01±0.0 ^a
8	-3.20±0.0 ^g	71.35±0.0 ^d

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

DH (entalpía); T_g (Temperatura de transición vítrea)

Tabla No.18. Perfil de viscosidad en formulaciones

F*	V pa	V pi	Temperatura V pi	V fi
1	166.57±17.23 ^c	3707.2±2.87 ^a	74.14±0.04 ^a	6183.4±11.49 ^a
2	213.29±2.87 ^c	3410.6±2.87 ^b	671.80±0.04 ^b	5041.8±11.49 ^d
3	377.83±34.47 ^a	3361.9±2.87 ^c	71.39±0.09 ^b	4509.6±5.74 ^e
5	192.98±8.61 ^c	3000.285±2.87 ^g	68.55±0.09 ^f	5029.6±11.49 ^d
6	219.38±11.49 ^c	3144.5±11.47 ^f	69.70±0.18 ^e	5135.7±0.70 ^c
7	237.66±20.11 ^{bc}	3286.7±5.74 ^d	70.72±0.13 ^c	5350.5±11.49 ^b
8	309.73±20.11 ^{ab}	3215.6±2.87 ^e	70.21±0.13 ^d	4523.8±2.87 ^e

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

V pa (viscosidad pasting); V pi (viscosidad pico); V fi (viscosidad final)

Viscosidad (cP's); T (°C)

Tabla No.19. Parámetros fisicoquímicos de totopos

F*	a _w *	T*	Xw	L*	a*	b*
1	0.176±0.007 ^a	24.90	2.00±0.15 ^b	83.74±0.58 ^a	-1.01±0.10 ^b	15.84±0.53 ^d
2	0.140±0.001 ^b	24.83	1.77±0.02 ^b	77.93±0.62 ^c	-2.78±0.11 ^d	18.26±0.65 ^b
3	0.131±0.000 ^b	24.90	1.74±0.08 ^b	74.56±0.85 ^d	-3.53±0.11 ^e	19.73±0.52 ^a
5	0.117±0.001 ^c	24.90	2.74±0.16 ^a	83.32±0.54 ^{ab}	-0.57±0.11 ^a	16.41±0.58 ^{cd}
6	0.111±0.000 ^c	24.80	1.94±0.00 ^b	82.95±0.61 ^{ab}	-0.62±0.23 ^a	16.97±0.57 ^c
7	0.135±0.001 ^b	24.80	2.11±0.25 ^b	82.60±0.61 ^b	-0.63±0.11 ^a	17.06±0.52 ^c
8	0.173±0.001 ^a	24.90	1.83±0.03 ^b	78.41± ^c	-2.35±0.15 ^c	18.74±0.39 ^b

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

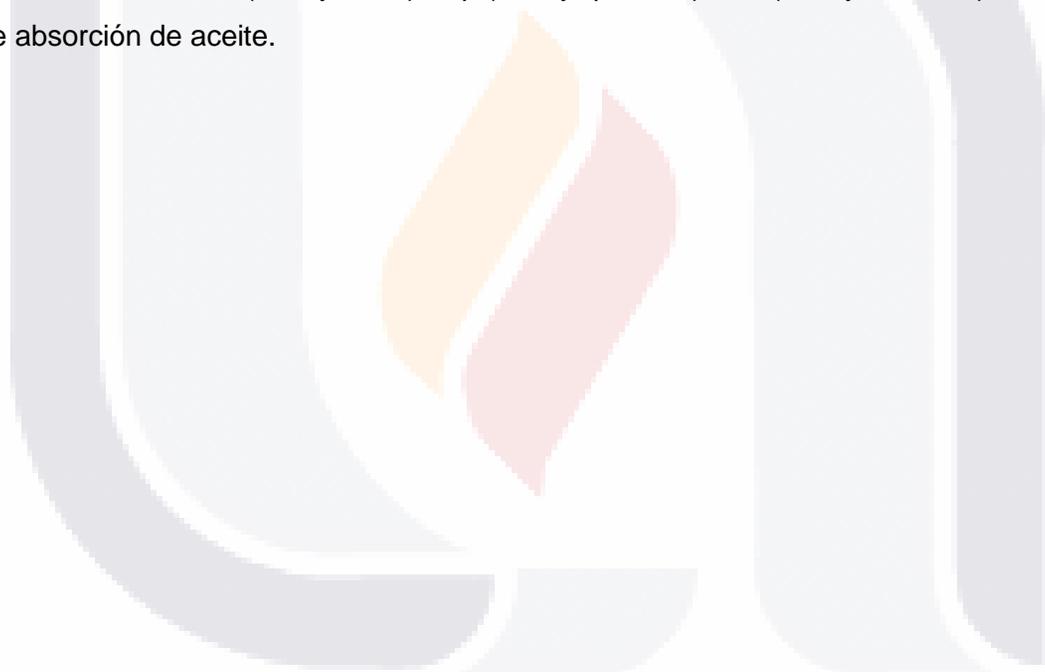
Formulación; a_w (actividad de agua); T (temperatura °C); Xw (humedad); L (luminosidad), a* (tonos verdes), b* (tonos amarillos)

Tabla No.20. Propiedades mecánicas y de absorción de aceite de totopos

F*	Crujiencia	IAA*	Wt*	Wp*	We*
1	7.57±1.14 ^b	10.33±0.67 ^c	7.34±0.78 ^{bc}	3.81±0.51 ^{ab}	3.53±0.65 ^{ab}
2	7.72±1.03 ^b	7.75±0.62 ^{de}	8.33±1.06 ^b	4.41±0.74 ^{ab}	3.91±0.66 ^a
3	7.25±0.99 ^{bc}	9.63±0.84 ^c	8.58±0.97 ^a	4.64±0.79 ^a	3.94±0.33 ^a
5	5.15±1.61 ^c	7.27±1.05 ^e	6.70±1.10 ^c	3.68±1.07 ^{bc}	3.01±1.00 ^{bc}
6	7.32±1.39 ^{bc}	14.31±0.97 ^b	7.75±1.07 ^{ab}	4.09±0.75 ^{ab}	3.66±0.62 ^{ab}
7	10.22±1.08 ^a	18.99±0.54 ^a	8.36±0.77 ^{ab}	4.52±0.39 ^{ab}	3.83±0.55 ^a
8	5.20±1.02 ^a	8.43±0.83 ^d	5.49±1.06 ^d	2.98±1.30 ^c	2.50±0.88 ^c

Letras diferentes expresan diferencias significativas (p< 0.05)

*Formulación; Wt (trabajo total); Wp (trabajo plastico); We (trabajo elástico); IAA (Indice de absorción de aceite).



BIBLIOGRAFÍA

- AACC Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 9th ed. St Paul MN. 1995.
- Adambounou, T. L. & Castaigne, F. (1981). Influence of partial drying on oil absorption and texture of french fries. *Can. Inst. Food Sci. Technol.*, 14(4), 304-309.
- Almeida- Dominguez HD. y Rooney L. W. (1996). Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. Seminario de Asociación Americana de Soya (AAS) México, D.F. Industria Alimentaria. 18: 4-13.
- Almeida-Dominguez HD, N. G. Valencia, M. E. e Higuera-Ciapara. (1990). Formulation of corn-based snack whit high nutritive value; biological and evaluation. *Journal of Food Science*. 55:228-230.
- American Association of Cereal Chemists. (1995). Approved methods of the AACC (9th ed.). St. Paul, MN: The Association.
- Anderson, A. (2003) Snacking habits in adults. *Journal of Human Nutrition and Diet*, 16: 1-2.
- Anderson, R. A., Conway, H. F. M., Pfeiffer, V. F., & Griffin, E. J. (1969). Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4–12.
- Anónimo. (1997a). Producción mundial de maíz, claridades agropecuarias, No. 45:3-18.
- Anónimo. (1997b). La vanguardia en la producción de maíz en México, claridades agropecuarias, No. 45:3-18.
- AOAC (1980) (1995) Official Methods of Analysis 13th y 17th Eds. Washington, D. C. Association of Analytical Chemists International.

- Arvanitoyannis & Houwelingen-Koukaliaroglou (2005) Functional Foods: A Survey of Health Claims, Pros and Cons, and Current Legislation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45:385-404.
- Badui, D. S. (1989). *Química de los alimentos*, Ed. Alhambra Mexicana, S. A. de C. V., México, D. F.
- Badui, D. S. (2006). *Química de los alimentos*, Ed. Alhambra Mexicana, S. A. de C. V., México, D. F. p: 145.
- Barrera C., Betoret N. & P. Fito (2003). Ca²⁺ and Fe²⁺ influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Journal of Food Engineering*, 65, 9-14.
- Baum JA, Teng H, Erdman JW, Weigel RM, Klein BP, Persky VW. (1998). Long-term intake of soy protein improves blood lipid profiles and increases mononuclear cell low-density-lipoprotein receptor messenger RNA in hypercholesterolemic, postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 1998;68:545–51.
- Bedolla S, L W Rooney. (1984). Characteristic of US Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Food Wld.* 29:732-735.
- Bello-Pérez L. A., Osorio-Díaz P., Agama-Acevedo A., Nuñez-Santiago C., Paredes-López O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36:319-328.
- Bressani R., Scrimshaw N.S. (1958). Effect of lime treatment on in vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn". *Agri. Food Chem.* 6,774.
- Bressani, R. y Elías, L.G. (1972). La calidad proteínica del maíz opaco-2 como ingrediente de dietas rurales de Guatemala. *Arc/n Latinoam. Nutr.*, 22: 577-594.
- Bressani, R., Elias, L.G. y Braham, J.E. (1978). Improvement of the protein quality of corn with soybean protein. *Adv. E.Y.P. Med. Biol.*, 105: 29-65.
- Bressani, R., Murillo, B. y Elías, L.G. (1974). Whole soybeans as a means of increasing protein and calories in maize-based diets. *J. Food Sci.* 39: 577-580.

- Cabrera L. (1992). Diccionario de aztequismos. (Collofón, México, 1992).
- Campus-Baypoli, O. N., E. C. Rosas-Burgos, P. I. Torres-Chávez, B. Ramírez-Wong, and S. O. Serna-Saldívar. (1999). Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. *Starch/Starke* 51: 173-177.
- Cees de Graaf. (2006). Effects of snacks on energy intake: An evolutionary perspective. *Research review Appetite*, 47:18–23.
- Changala, R. G., Susheelamma, N. S., & Tharanathan, R. N. (1989). Viscosity pattern of native and fermented black gram flour and starch dispersions. *Starch/Starke*, 41(3), 84–88.
- Chau et al., (2004). Comparison of characteristics, functional properties and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fraction. *Lebensm-Wiss u.- Technology*, 37, 155,60.
- Claughton, S.M. & Pearce, R.J. (1989). Protein enrichment of sugar-snack cookies with sunflower protein isolate. *Journal of Food Science*, 54, 354-356.
- Clydesdale, F.M. (2005). A review of childhood and adolescent obesity interventions. *Critical Review of Food Science & Nutrition*. 2005;45(7-8):511-25.
- Collins JL, Sánchez JF. (1980). Quality parameters of tortillas fortified with soy and cheese. *Journal of Food Science*,; 45:667-679.
- De Escalada-Pla M F, Rojas A M, Gerschenson L N. (2005). Efecto del agregado de fibra de calabaza en la reología de las masas farináceas. Libro de Artículos En Extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. <http://www.encb.ipn.mx/cibia/Tom0III/III-62.pdf>.
- Del Valle F. R., Pérez-Villaseñor J. (1974). Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw corn-soy bean mixtures. *Journal of Food Science*;39:244-247.
- Del Valle, F.R., Montemayor, E., and Bourges, H. (1976). Industrial production of soy-enriched tortilla flour by lime cooking of whole raw corn soybean mixtures. *Journal of Food Science*, 41:349-351.
- Earle, F. R., Curtis, J. J. and Hubbard, J. E. (1946). *Cereal chemistry*, vol. 23, p: 504.

Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) (2006). Santa María, Cuernavaca (MX): Instituto Nacional de Salud Pública, Centro de Investigaciones en Nutrición y Salud; 2006. <http://www.insp.mx/ensanut/>.

FAO, Roma, Italia 1993. El maíz en la nutrición humana (Colección FAO:Alimentación y nutrición, N° 25).

FAO. 1997. FAOSTAT statistics data base. Internet. <http://apps.fao.org/>

FAO. 2001. FAOSTAT STATISTICS DATA BASE, INTERNET <http://apps.fao.org/>

FAO. 2003. FAOSTAT STATISTICS DATA BASE, INTERNET <http://apps.fao.org/>

Fernandez-Muñoz, J.L., M.E. Rodriguez, R.C. Pless, H.E. Martinez-Flores, M. Leal, J.L. Martinez, L. Baños. (2002). Changes in nixtamalized corn flour dependent on postcooking steeping time. Cereal Chemistry, 79(1):162-166.

Fernández-Muñoz, J.L., San Martín-Martínez E., Irán Díaz-Góngora, J.A., Calderón, A., Alvarado-Escobar A., Ortiz Cárdenas H. (2005). Evaluación de los cambios fisicoquímicos a diferentes tamaños de partícula de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo de reposo. Libro de Artículos En Extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos .
<http://www.encb.ipn.mx/cibia/TomIII/III-46.pdf>

Fernández-Muñoz, J.L., San Martín-Martínez E., Irán Díaz-Góngora, J.A., Calderón, A., Alvarado-Escobar A., Ortiz Cárdenas H. (2005). Evaluación por medio de RVA de la funcionalidad de las distribuciones de tamaño de partículas de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo en reposo. Libro de Artículos En Extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos
<http://www.encb.ipn.mx/cibia/TomIII/III-45.pdf>

Figuroa J.D.C. (1999). La tortilla vitaminada, Avance y perspectiva 18, pp. 149–158.

Figueroa JDC y Aguilar R. (1997) El origen del maíz. Avance y Perspectiva;16:91-98.

Figueroa JDC y Jesús Gonzalez Hernandez. (2001). La tecnología de la tortilla: Pasado, presente y futuro. Ciencia y Tecnología 156. pp 23-31.

Figueroa JDC, González-Hernández J, Arámbula VG, Morales SE. (1997) Tecnologías Ecológicas para la Producción de Tortilla. Avance y Perspectiva;16:363-374.

Figueroa JDC, González-Hernández J, Arámbula VG, Morales SE. (1997) La tecnología de la tortilla. Ciencia y desarrollo;156:25-31.

Figueroa JDC, Lozano F.A., López-Cajún C.S. and González-Hernández J, Arámbula (2000) Evolution of the machines for the corn tortillas production. International symposium of History of the Machines and Mechanism Proceedings HMM,. 93-99.

Figueroa JDC, Mauricio A., Suketoshi T; Morales E.; Mendoza A.; Gaytán M.; Rincón-Sánchez F.; Reyes M.L.; Véles J.J..(2003). Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from México, the Caribbean, and South and Central America. Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, In situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding; 51-57.

Figueroa, JDC, Martínez, B. F., González, H. J. and Sánchez, S. F. (1994). Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización, Avances y Perspectivas. Vol. 13:323-329.

Fleury, A., Pons, Y., Roncin, F. and Buré, J. (1979). Cereales, GRAN LAROUSSE

Flores-Farías, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y. y Ríos E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. Agrociencia 36:557-567.

Gamble, M. H. & Rice, P. (1987). Effect of Pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. Intl. J. Food Science. Technology., 22(5), 535-539 Va.: Snack Food Association.

- Garibay-Bagnis C. y San Martín-Martínez E. (2006). Hypoglycemic effect of nopal, chilacayote and guarumbo used for the treatment of diabetes mellitus. International Scientific Congress. Mexican Association of Food Science, AMECA, A.C. Saltillo.
- Goldberg, I. (1994). Functional foods designer foods, pharmafoods, nutraceuticals. Ed. Chapman & Hall. New York.
- Gómez, M. H., Lee J.K., McDonough, C.M., Waniska R. D and L. W. Rooney. (1992). Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.* 68,275-279.
- Gómez, M. H., R. D. Waniska and L. W. Rooney. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* 68: 578-582.
- Gómez, M.H., McDonough, C.M., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. (1989). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.* 54: 330-336
- Gomez-Aldapa, C.A., Martínez Bustos, F., Figueroa, JDC y Ordorica, FCA. (1999). A comparison of the quality of corn tortillas made from instant corn flour by traditional of extrusion process. *Int. J. Food Sci. Tech.* 34,391-399.
- González, R. J., R. L. Torres, D. M. De Greef, N. A. Gordon and M. E. Veloci. (1991). Influencia de las condiciones de extrusión en las características de la harina de maíz para elaborar sopas instantáneas. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos.* 31/1.
- González-Hernández J, Figueroa JDC, Martínez L, Vargas H, Sánchez-Sinencio F. (1997) Technological Modernization of the Alkaline Cooking Process for the Production of Masa and Tortilla. En: Gazzinelli R, Moreira RL, Rodriguez WN, eds. *Physics and industrial development: Bridging the gap.* Singapore and London. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd;126-178.
- González-Hernández, J., Martínez, J.L., Sánchez-Sinencio, F., Figueroa, J.D.C., Martínez-Bustos, F., y Ruiz, T M. 23 de octubre de 1997. Proceso para Cocimiento de Tortillas de Maíz Usando Radiación Infrarroja. Patente mexicana No. 185953.

Gras M.L., Vidal D., Betoret N., Chiralt A. & Fito P. (2001). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56, 279-284.

Green JR, Lawhon JT, Cater CM, Mattil KF. (1977). Utilization of whole undefatted glandless cottonseed kernels and soybeans to protein-fortify corn tortillas. *Journal of Food Science*,; 42(3): 790- 794.

Greenfield, H. J., Makinson, J. & Wills, R. B. H. (1984). Lipids in french fries: a retail and laboratory study. *J. Food Technol.*, 19(2), 239-245.

Hardacre, A.K., S.M. Clark, S. Riviere, J.A. Monro Y A.J. Hawkins. (2006). Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *Journal of Texture Studies* 37:94-111.

Hawrysh, Z. J., Erin, M. K., Kim, S. S., & Hardin, R. T. (1995). Sensory and chemical stability of tortilla chips fried in canola oil, corn oil, and partially hydrogenated soybean oil. *Journal of American Oil and Chemistry Society*, 72, 1123–1130.

Herman C, Adlercreutz T, Goldin BR, Gorbach SL, Hfckerstedt KA, Watanabe S. (1995). Soybean phytoestrogen intake and cancer risk. *J Nutr Suppl*; 125:1- 6.

Hilliam, M. (1998). The market for functional foods. *International Dairy Journal*, 8, 349–353.

Hoedge et al., (2004). Glycemic index and dietary fiber and the risk of type two of diabetes. *Diabetes Care*; 27 (11) 2701-6.

Hoseney R.C. (1998). Gelatinization phenomena of starch. In: M.A. Rao and R.W. Hartel, Editors, *Phase/state transitions in foods: Chemical, structural, and rheological changes*, Marcel Dekker, New York, pp. 95–110.

Hung, Y.C. & Philips, R.D. (2003). Physical and sensory characteristics of sugar cookies containing mixtures of wheat, fonio (*Digitaria exilis*) and cowpea (*Vigna*

unguiculata) flours. International Journal of Food Science and Technology, 38,403-410.

Hutchings, J.B. (1999) Food Colour and Appearance. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.

Jackson, D. S. and Shandera, J. R. (1995). Corn Wet Milling: Separation Chemistry and Tecnology, ADVANCES in Food and Nutrition Research. Vol. 38:271-297.

Jackson, D.S., Rooney, W.L., Kunze, O.R. and Waniska, R.D. (1988). Alkaline processing properties of stress-cracked and broken corn (Zea mays).Cereal Chem. 65-133-137.

Jane J. y J Chen (1992). Effect of amylase molecular size and branch chain length on paste properties of starch. Cereal Chem 69 (1): 60-65.

Katz, S.H.: M.L. Hediger y L.A. Valleroy.(1974). "Tradicional Maize Processing Thechniques in the New World", Science 184,1974,p.765.

Kawas, M.L. & Moreira, R. (2001). Characterization of product quality attributes of tortilla chips J. Food Sci. Technol., 22(5), 53-59.

Kovacs, M.I.P., Fu, B.X., Woods, S.M., and Khan, K. (2004). Thermal stability of wheat gluten protein: Its effect of dough properties and noodle texture. J. Cereal Sci. 39:9-19.

Lachance PA. (1972). La Filosofía de la Fortificación Aplicada al Maíz. En: Bressani R, Braham JE, Béhar M, eds. Mejoramiento Nutricional del Maíz. Guatemala. INCAP.

Lamartiniere CA, Moore JB, Brown NM, Thompson R, Hardin MJ, Barnes S. (1995). Genistein suppresses mammary cancer in rats. Carcinogenesis;16:2833- 40.

Lamartiniere CA, Murrill WB, Manzollillo PA, Zhang JX, Barnes S, Zhang X. (1998). Genistein alters the ontogeny of mammary gland development and protects against chemically induced mammary cancer in rats. Proc Soc Exp Biol Med;21:358- 64.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Lecaros, M. (1997). Caracterización de harina de cladodio de nopal (*Opuntia ficus-indica*).
- Lecaros, M. (1997). Caracterización de harina de cladodio de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Memoria de Título. Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 53 pp.
- Lee, J. K. (1991). Effect of processing conditions and maize varieties on physicochemical characteristics of tortilla chips. Ph.D. dissertation, Texas A & M University, College Station.
- Li, J.Y., A.I. Yeh, Kang-Lin Fan. (2007). Gelation characteristics and morphology of corn starch/soy protein concentrate composites during heating. *Journal of Food Engineering* 78: 1240–1247.
- Lujan-Acosta, F. J. (1996). Production of low-fat tortilla chips using alternative methods of drying before frying. MS thesis, Texas A&M University, College Station, TX .
- Lusas, EW. & Rooney, L, W. (2001) *Snack Foods Processing*. Ed Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania USA
- MacAulay, J.; Petersen, B. & Shank, F. (2006) *Functional Foods: Opportunities and Challenges*. Expert Report, Institute of Food Technologists 2-12.
- Makinson, J. H., Greenfield, H., Wong, M. L. & Wills, R. B. H. (1987). Fat uptake during deep fat frying of coated and uncoated foods. *J. Food Comp. Anal.*, 1(1), 93-97.
- Mangelsdorf, P.C. (1947). *Corn: Its Origin, Evolution and Improvement*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Mangelsdorf, P.C. y Reeves, R.G. (1939). The origin of Indian corn and its relatives. Bulletin No. 574 Texas Agrie. Eap. Stn. College Station, Tejas, EE.UU.

- Marin B, Eduardo, Lemus M, Roberto, Flores M, Verónica. (2006). La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. Rev. Chil. Nutr., Vol.33, No.3, P.527-538. Issn 0717-7518.
- Martínez-Bustos F, Martínez-Flores H E, San Martín-Martínez E, Sánchez-Sinencio F, Chang YK, Barrera-Arellano D y Ríos E. (2001). Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the tradicional nixtamalization process. J Sci. Food Agr. 81,1455-1462.
- Martínez-Flores H.E., F., Martínez-Bustos, J. D. Figueroa c., J. González-Hernández. (1998). Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. J. Food Science 63 (1), 130-133,
- Martínez-Flores H.E., Garnica-Romo, M.G., Romero V.J.U. y Yahuaca J.B. (2006) Evaluating the quality of lipids during alkaline cooking of corn. Journal of Food Lipids 13:173-185.
- Martínez-Flores H.E., M.C. Cruz, S.A. Larios, G.E. Jiménez, J.D.C. Figueroa, C.A. Gómez-Aldapa. (2005). Sensorial and biological evaluation of an extruded product made from corn supplemented with soybean and safflower pastes. International Journal of Food Sciences and Technology, 40(5): 517-524.
- Martínez-Flores H.E., Martínez-Bustos F, Figueroa J.D.C. González-Hernández J. (2002). Nutritional studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. Journal of Food Science, 67:1196-1199.
- Mauricio R.A., Figueroa JDC, Suketoshi T., Reyes ML., Rincón F., Mendoza A. (2004). Characterization of maize accessions by grain and tortilla quality traits. Revista Fitotecnia 27 (3), 213:222.
- Memoria de Título. Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 53 pp.
- Method of Cooking Corn Dough Tortillas Using Infrared Radiation. (1996). González Hernández, J. Martínez, J.L. Sánchez-Sinencio F., Martínez-Bustos, F., Figueroa J.D.C., Ruiz-Torrez, M. Patent US 5,567,459.
- Morales, L. (1989). Apuntes no publicados de Tecnología de Botanas. Barcel del Centro. México.

- Moreira, R. G., Palau, V. E., Sweat, V. E., & Sun, X. (1995). Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19, 175–189.
- Moreira, R. G., Sun, X., & Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 31(4), 485-498.
- Moskowitz, H.R. (1987). *Food Texture. Instrumental and Sensory Measurement*. Marcel Dekker, New York.
- Muñoz M, Chávez A. (1998). El impacto del maíz fortificado con proteínas y micronutrientes en una comunidad rural. Informe técnico de la evaluación anual sobre el efecto nutricional de la harina de maíz nixtamalizada fortificada.- Yosphi-El Rincón, San Ildefonso, Querétaro. México. Instituto Nacional de Nutrición «S.Z.»..
- Narvaéz-González E D, J D Figueroa, S Taba, E Castaño, R A Martínez Peniche. (2007). Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 269-277.
- Nieto, J. (1987). *Apuntes no Publicados de Tecnología de Botanas*. Barcel del Centro. México.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba. Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.
- Nutrición. (1987). *CONASUPO y sus empresas industriales*. 10 (vol. 1): 30-32.
- Obatolu V A, Okoruwa Augustine & J E Iken. (2007). Improvement of home-made maize tortilla with soybean. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 420-426.
- Obatolu, V; Omueti, O. & Adebowale, E. (2006) Qualities of extruded puffed snacks from maize / soybean mixture. *Journal of Food Process Engineering*, 29, 149–161.

- Onwulata, C. & Tomasula, P. (2004) Whey Texturization: A Way Forward. *Food Technology*, 58: 7-14.
- Onwulata, C. I.; Konstance, R. P.; Smith, P. W., & Holsinger, V. H. (2001) Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, 34: 679-687.
- Ortega, F.:I., Villegas, E. y Vasal, S.K. (1986). A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63: 446-451.
- Paredes-López, O., L. A. Bello-Pérez, and M. G. López. (1994). Amylopectin: structural, gelatinization and retrogradation studies. *Food Chemistry*. 50: 411-418.
- Paredes-López, O., Saharópulos-Paredes M.E. (1983). Maize a review of tortilla production technology. *Bakers Digest*. 13,16.
- Park, J. And Rheek, S. (1993). High-protein texturized products of defatted soy, flour, corn starch and beef; shelf-life, physical and sensory properties. *Journal of Food Science*. 58:21-27.
- Pascale De Meuter, Hubert Rahier, Bruno Van Mele. (1999). The use of modulated temperature differential scanning calorimetry for the characterization of food systems. *Internacional journal of pharmaceutics*. 192;77-84.
- Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. (1988). Fractionation and composition of commercial corn masa. *Cereal Chem.* 65: 262-266.
- Pierre René Guesry (2005) Impact of 'Functional Food' Nestlé Research Centre, Lausanne, Switzerland Elmadfa I (ed): Diet Diversification and Health Promotion. *Forum Nutr. Basel*, Karger, vol 57, pp 73-83.
- Pravisani, C. I. & Calvelo, A. (1986). Minimum cooking time for potato strip frying. *J. Food Sci.*, 51(3), 614-617.
- Prinyawiwatkul, W.; Beuchat, L. R.; Resurreccion, A. V. A. (1993). Optimization of sensory qualities of an extruded snack based on cornstarch and peanut flour. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 26, 393-399.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Ríos, O.R. (1989). Tesis para obtener el título de IQA. Tecnología de botanas. Facultad de Química UAQ.

Rock-Dudley P. (1993). The effect of processing parameters on oil content of corn tortilla chips [MS thesis]. College Station, Texas: Texas A&M University.

Rooney L. (1999). Efecto de la adición de proteínas de soya en la calidad de las tortillas. En: Excelencia en la calidad en la calidad para la tortilla de maíz. Reporte de Investigaciones de la Asociación Americana de Soya; 1-22.

Roos, Y. (1992). Phase transitions and transformations in food systems. In D. Heldman, & D. Lund, Handbook of Food Engineering, vol. 145. NY: Marcel Dekker.

Roos, Y. H., Karel, M., & Kokini, J. L. (1996). Glass transitions in low moisture frozen foods. Food Technology, 50(11), 95±108.

Rosado, J. and Díaz, M. (1995). Propiedades fisicoquímicas relacionadas con función

Rosell C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Food Hydrocolloid.,15,75.

Rosell MS, Appleby PN, Spencer EA, Key TJ. (2004). Soy intake and blood cholesterol concentrations: a cross-sectional study of 1033 pre- and postmenopausal women in the Oxford arm of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. Am J Clin Nutr;80:1391–6

Ross, S. A. et al. (2004). Chemistry and biochemistry of type 2 diabetes. Chemical reviews, 104, 3, 1255.1282.

Ruiz-Roso, B. (2002). Posibilidades de la fibra dietética en el control del enfermo diabéticos no insulino dependiente. Schironia No. 1. Noviembre (wwwschironia.com)

Sáenz C. H. (1998). Cladodes: a Source of Dietary Fiber. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 2:117-123.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Sahai D., I. Surjewan, J. P. Mua, M. O. Buendía, M. Rowe, D. S. Jackson. (2000). Dry matter loss during nixtamalización of a white corn hybrid impact of processing parameters. *Cereal Chem.* 77(2):254-258.

Salinas M Y , F Martinez, H J Gomez (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea Mays* L) *Arch Latinoam Nutrición* 42 (1) :59-63.

Salvador, A., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2003). Rheological properties of batters for coating products—effect of addition of corn flour and salt. *Food Science Technology International*, 9(1), 23–27

Sarkar FH, Li Y. (2002). Mechanisms of cancer chemoprevention by soy isoflavone genistein. *Cancer Metastasis Rev*;21:265- 80.

Serna Saldivar, Sergio R. Othon (2001). *Química, Almacenamiento e Industrialización De Cereales*. México: Agt. Edición 1.

Serna-Saldívar S O, M H Gomez, L W Rooney (1984). Technology, Chemistry and Nutritional Value of alkaline-cooked corn products. In: *Advances in Cereal Science and Technology*. Y Pomperanz. (ed). AACC. St. Paul, MN. Vol 10:243-307.

Serna-Saldivar, S. O., Gomez, M. H., & Rooney, L. W. (1990). Technology, chemistry, and nutritional value of alkaline-cooked corn products. In Y. Pomeranz, *Advances in Serna-Saldívar S R O. (1996). Química. Almacenamiento e Industrialización de los cereales*. AGT Editor, S.A. México D.F. 521 p.

Serna-Saldivar, S.O., Canett, R., Vargas, J., González, M., Bedolla, S. y Medina, C. (1988). Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusión cooking. *Cereal Chem.*, 65: 44-48.

Shrestha, AK. & Noomhorm, A (2002). Comparison of physico-chemical properties of biscuits supplemented with soy and Kinema flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 361-368.

- Sitori CR, Lovati MR, Manzoni C, Monetti M, Pazzucconi F, Gatti E. (1995). Soy and cholesterol reduction: clinical experience. *J Nutr*;125:598S–605S.
- Stone, H. y Sidel. J.L. (1993). *Sensory Evaluation Practices*. Academic Press, New York.
- Stylianopoulos, Chryssanthi (2002). Efectos de la fortificación y enriquecimiento de tortillas de maíz en el crecimiento y desarrollo cerebral de ratas durante dos generaciones. *Transferencia Posgrado, Investigación y Extensión Año 12, Número 48*, Octubre de 1999.
- Sun, X. And Moreira, R. G. (1994). Oil distribution in tortilla chips during deep-fat frying. *American Society of Agricultural Engineers*,. Paper No. 94-6506, 1–13.
- Sunday Y. Giami, Simeon C. Achinewhu¹ & Christiana Ibaakee (2005) The quality and sensory attributes of cookies supplemented with fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook) seed flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 613-620 613.
- Tettweiler, P. (1991). Snacks foods worldwide. *Food Technology*. 45: 58-62.
- Thoufeek Ahamed, N., Rekha S. Singhal, Pushpa R. Kulkarni y Mohinder Palb. (1997). Deep fat-fried snacks from blends of soya flour and corn, amaranth and chenopodium starches. *Food Chemistry*, Vol. 58, No. 4, pp. 313–317.
- Tovar AR, Murguía F, Cruz C, Hernández-Pando R, Aguilar-Salinas CA, Pedraza-Chavarri J. (2002) . A soy protein diet alters hepatic lipid metabolism gene expression and reduces serum lipids and renal fibrogenic cytokines in rats with chronic nephritic syndrome. *J Nutr*;132:2562–2569.
- Trejo-González A., Feria-Morales A., Wild-Altamirano C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn tortilla preparation. *UNIVERSAL*. Vol. 9:2621-2622. PLAZA & JANES, S.A., USA.
- Van Zeddemann, H. (1981). Frying and cooking fat and their quality control. *CCB Rev. Choc. Confect. Bakery*, 6(3), 25-27.

- Vaqueiro C.M. and R. Reyes (1986). Patent No. 4,594,260.USA.
- Varela, G. (1977). Heated fats: a contribution to the study of the food frying process. *Bibl. Nutr. Dieta*, 25, 112-121.
- Varela, G., Bender, A. E. & Morton, I. D. (1988). In *Frying of Foods Principles, Changes, New Approaches*. Ellis Horwood, Chichester, UK.
- Véles Medina, Jose Juan. (2004). Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Querétaro, México. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado en Ciencias en Tecnología Avanzada. 205 p.
- Vivas, N.E., Waniska, R.D. y Rooney, L.W. (1987). Effect of tortilla production on proteins in sorghum and maize. *Cereal Chem.* 64: 384-389.
- Voragen, A.G.J. (1998). Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends Food Science Technology.*, 9:328-335.
- Wang, D., And Eckhoff, S.R.. (2000). Effect of broken corn levels on water absorption and steepwater characteristics. *Cereal Chem.* 77:27-31.
- Warman A. (1993). *La Historia de un bastardo: maíz y capitalismo*. (Fondo de Cultura Económica.
- Watson, A. S. and Ramstad, E. D. (1987). Structure and composition. In *Corn: Chemistry and Technology*. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN.
- Watson, S. A. (1988). Structure and composition. *Corn: chemistry and technology*. Pag. 53-82. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. ST. Paul, Minesota, USA.
- Wolf, B.W. et al. (2004). Glycemic response to a food starch esterified by 1-octenyl succinic anhydride in humans. *Journal Agric. Food Chemistry*, 49, 2674,2678.
- Xu X, Duncan AM, Wangen KE, Kurzer MS. (2000). Soy consumption alters endogenous estrogen metabolism in postmenopausal women. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*;9:781 - 6.

Xue, Jun y Michael Ngadi. (2006). Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations. *Journal of Food Engineering* 77 (2006) 334–341.

Xue, Jun y Michael Ngadi. (2007). Thermal properties of batter systems formulated by combinations of different flours. *LWT* 40 (2007) 1459–1465.

Zoulias, VE, Oreopoulou, V. & Kounalaki, E. (2002). Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1637-1644.

