



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MENSUAL DE HARINAS EN
UNA PLANTA PROCESADORA DE MAÍZ

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Carlos Jesús Baeza García

ASESORA: DRA. ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ

COASESORA: M. EN C. ARACELI ULLOA SAAVEDRA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Evaluación de la producción mensual de harinas en una planta procesadora de maíz.

Que presenta el pasante: Carlos Jesús Baeza García

Con número de cuenta: 411085513 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Octubre de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.B.Q. José Jaime Flores Minutti	
VOCAL	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
SECRETARIO	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
1er. SUPLENTE	M. en C. Enrique Fuentes Prado	
2do. SUPLENTE	I.A. Maritza Rocandio Pineda	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Agradecimientos

A Dios:

Por brindarme la vida y permitirme lograr los objetivos que me he trazado desde el momento que tuve huso de conciencia y razón, ya que sin él nada de lo que soy sería posible, además de siempre bendecirme desde el momento que nací y por estar conmigo en los momentos para difíciles de mi vida.

A mi Madre:

Por ser una guerrera, luchadora e independiente así como ser la mejor de las madres, por darme lo que siempre necesitaba de acuerdo a sus posibilidades, por tener la dicha de siempre luchar juntos contra todo mal o problema que se nos presente, por darme sabios consejos y hacer de mí una persona de bien; el cual no le teme a nada ni a nadie, además de enseñarme hacer independiente y darle las gracias a la vida por darle una segunda oportunidad de estar junto a mí.

A mi Padre:

Por ser un hombre hecho y derecho el cual me inspiro a hacer ser una persona centrada y pensar siempre hacia el futuro así como ser un caballero en todo sentido.

A mi hermano:

Por ser un ejemplo hacia el ya que siempre han estado a mi lado apoyándome y brindándome su amistad.

A mis Amigos:

Por ser parte de la familia que no tuve ya que siempre están conmigo de forma incondicional brindándome su cariño y apoyo en todo momento.

ÍNDICE

	Páginas
Índice de Contenido	I
Índice de Cuadros	II
Índice de Figuras	III
Resumen	1
Introducción	2
Capítulo 1 Antecedentes	5
1.1 Generalidades y calidad del maíz para la industria harinera	6
1.2 Definición y composición química de la harina de maíz nixtamalizado	7
1.3 Estadísticas de producción de harina de maíz nixtamalizado en México	8
1.4 Principales empresas que producen harina de maíz nixtamalizado	10
1.5 Descripción del proceso de nixtamalización	13
1.6 Pruebas para harina de maíz Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002	19
1.6.1 Materia Extraña	19
1.6.2 Acidez	19
1.6.3 Determinación de Pureza	19
1.6.4 Determinación de óxido de calcio y magnesio	20
1.7 Aditivos y conservadores que se adicionan a las harinas de maíz	20
1.8 Harinas de maíz nixtamalizadas fortificadas	21
1.9 Importancia del departamento de control de calidad en la planta	24
1.10 Pruebas de calidad en harinas al finalizar el proceso y durante almacenamiento	25
1.10.1 Humedad	25
1.10.2 Prueba de sustancias extrañas	25
1.10.3 Análisis de tamaño de partícula	26
1.10.4 Almidón Alterado	27
Capítulo 2 Metodología	30
Cuadro Metodológico	32
2.1 Actividades preliminares	33
2.2 Actividades del Objetivo 1	33

2.2.1	Determinación de humedad	33
2.2.2	Determinación de grasa	35
2.2.3	Determinación de ceniza	37
2.2.4	Determinación de proteína	38
2.2.5	Determinación de pH	41
2.3	Actividades del Objetivo 2	43
2.3.1	Determinación de Análisis Granulométrico	43
2.4	Actividades del Objetivo 3	48
2.4.1	Determinación de Contenido de Calcio	48
2.5	Actividades del Objetivo 4	52
2.5.1	Determinación del perfil viscoamilográfico de harinas de maíz nixtamalizado	52
2.6	Tratamiento Estadístico	58
Capítulo 3 Resultados		57
3.1	Actividades preliminares	59
3.1.1	Resultados de humedad de harinas de maíz nixtamalizado	59
3.1.2	Resultados de Grasa de harinas de maíz nixtamalizado	62
3.1.3	Resultados de Ceniza de harinas de maíz nixtamalizado	64
3.1.4	Resultados de Nitrógeno de harinas de maíz nixtamalizado	66
3.1.5	Resultados de pH de harinas de maíz nixtamalizado	68
3.2.	Resultados de Objetivo 2 para Rendimiento	70
3.3	Resultados de Objetivo 3 para Concentración de calcio en harinas procesadas	74
3.4	Resultados del objetivo 4. Pico máximo en el perfil viscoamilográfico	76
Conclusiones		78
Recomendaciones		79
Referencias		80
Anexo 1		IV
Anexo 2		V
Anexo 3		VI
Anexo 4		VII
Anexo 5		VIII

Anexo 6

IX

Anexo 7

X

Anexo 8

XI

Índice de Cuadros

	Páginas
Cuadro 1.1 Composición química promedio de Harina de maíz Nixtamalizado	7
Cuadro 1.2 Aditivos utilizados en harinas de maíz nixtamalizado para elaboración de tortillas pre envasadas	21
Cuadro 1.3 Cumplimiento de fortificación de harinas período 2001-2003	22
Cuadro 1.4 Cumplimiento de fortificación de harinas 2001-2003	24
Cuadro 2.1. Representación tabular del análisis granulométrico	45
Cuadro 3.1 Humedad de harinas en los seis meses	59
Cuadro 3.2 Promedio de grasa en harinas de maíz en los seis meses	62
Cuadro 3.3 Promedio de ceniza en harinas de maíz nixtamalizado en los seis meses	64
Cuadro 3.4 Resultados promedio de nitrógeno proteico en harinas	66
Cuadro 3.5 Resultados de pH en harinas de maíz nixtamalizado	68

Índice de Figuras

	Páginas
Figura 1.1. Gráfica de la producción de harina de maíz nixtamalizada en México	8
Figura 1.2 Gráfica de la producción y empleo en la industria harinera de maíz	9
Figura 1.3 Diagrama de Bloques de la producción de Harina de Maíz Nixtamalizada	14
Figura 1.4 Perfil de viscosidad aparente para una harina	29
Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental	32
Figura 2.2 a) Desecador con charolas a peso constante	34
Figura 2.2 b) Balanza analítica	34
Figura 2.2 c) Muestras de harina de maíz nixtamalizado de un turno	34
Figura 2.3 a) Cartucho con harina	36
Figura 2.3 b) Extracción de aceite	36
Figura 2.4 a) Mufla de alta temperatura	37
Figura 2.4 b) Determinación de ceniza en harinas	37
Figura 2.5 Determinación del porcentaje de nitrógeno	40
Figura 2.6 Potenciómetro Jenco Electronics, LTD, Mod. 6071	42
Figura 2.7 b) Pesado de harinas	44
Figura 2.7 b) Pila de tamices	44
Figura 2.7 c) Tamices en Ro-Tap	44
Figura 2.7d) Tamices con harinas retenidas después de la vibración	44
Figura 2.8 Ejemplo de gráfica diferencial de distribución de harina	46
Figura 2.9 Gráfica acumulativa de harina de maíz nixtamalizado	48
Figura 2.10 a) Carrusel con vasos	51
Figura 2.10 b) Digestor de microondas	51
Figura 2.10 c) Espectrofotómetro de absorción atómica	51
Figura 2.11 Rapid Visco Analyser RVA, de Newport Scientific	54
Figura 2.12 Ejemplo de perfil viscoamilográfico de harinas	55
Figura 3.1 Gráfica de los efectos principales para humedad en harinas evaluadas	60
Figura 3.2 Gráfica de los efectos principales para determinación de grasa en harinas Evaluadas	63
Figura 3.3 Gráfica de los efectos principales de la determinación de ceniza en harinas evaluadas	65

Figura 3.4 Gráfica de efectos principales de % nitrógeno proteico en harinas evaluadas	67
Figura 3.5 Gráfica de los efectos principales de la determinación de pH en harinas evaluadas	69
Figura 3.6 Rendimiento en harinas de maíz nixtamalizado	71
Figura 3.7 Grafico acumulativo de harinas de maíz nixtamalizada	72
Figura 3.8 Gráfica de efectos principales para rendimiento en harinas de maíz nixtamalizado	73
Figura 3.9 Concentración de calcio en harinas de maíz nixtamalizado	74
Figura 3.10 Gráfica de efectos principales de la concentración de calcio	75
Figura 3.11 Grafica del pico máximo en el perfil viscoamilográfico	76
Figura 3.12 Gráfica de efectos principales para pico máximo en el perfil viscoamilográfico	77

RESUMEN

La harina de maíz nixtamalizada es un producto que surgió dado las necesidades de una creciente sociedad mexicana. Este producto ha rebasado las fronteras de México con una amplia perspectiva y rápido crecimiento, ya que se utiliza para producir tortillas, productos para la panadería, pastas, botanas entre otros. En 1970 el 80 % de la producción de tortilla se realizaba de forma artesanal y no había suficiente tecnología para trabajar a escala industrial. Sin embargo, era necesario industrializar el proceso de nixtamalización para un país en franco crecimiento con habitantes que consumían un promedio de 5 millones de toneladas de tortilla al año. La fabricación de harinas instantáneas de maíz llegó a considerarse un logro importante en la industria, debido al ritmo acelerado en que se vive, ya que elimina las labores intensivas y tediosas del proceso de fabricación de tortillas artesanales. El producto es más homogéneo y existe un mejor control higiénico durante su elaboración, lo que permite aumentar su vida de anaquel. Hoy en día, la harina de maíz nixtamalizado es un alimento insustituible y con un mercado garantizado, ya que tiene poca variabilidad económica tanto nacional como internacional. Sin embargo, durante su proceso y almacenamiento pueden presentarse variaciones que afectan la calidad del producto. Por esa razón, en el presente trabajo se planteó como objetivo evaluar la producción de harinas de maíz nixtamalizado durante un semestre, en los meses de enero a junio en una planta. La recolección de las harinas se realizó diariamente en los tres turnos de lunes a viernes durante los veinte días del mes sin incluir los fines de semana. Los parámetros evaluados para cada harina de maíz nixtamalizada en este proyecto fueron: El porcentaje de humedad, pH, cenizas y grasa mediante las técnicas del AOAC, el contenido de calcio residual por espectrofotometría de absorción atómica, el pico máximo del perfil viscoamilográfico en un visco analizador y el rendimiento harinero mediante lo solicitado por la norma NMX-046-S-1980, que establece que por lo menos el 75% de la harina debe pasar el tamiz 60 USA . Los resultados de estas pruebas demuestran que a pesar de que las grandes industrias tratan de llevar un control adecuado durante el proceso de nixtamalización no logran tener completo éxito. Las harinas evaluadas no tuvieron alta variabilidad en los parámetros relacionados con la materia prima, como son las cenizas y el porcentaje de nitrógeno proteico. Pero la prueba de Tukey mostró que el análisis químico proximal hubo diferencias significativas sobre todo en los meses de lluvias, mayo y junio. Los parámetros afectados fueron: pH, humedad y la concentración de calcio, los cuales están relacionados con la forma de procesamiento. Así mismo el análisis de Tukey reportó que hubo modificaciones en el pico en el perfil viscoamilográfico y en el rendimiento obtenido de las harinas, ya que estos dos se ven influenciados por las condiciones de proceso, como es el cocimiento del grano y la molienda seca, ambos parámetros se ven modificados por la humedad. Se concluye que el producto debe estar en un almacén controlado y poco tiempo en pasillos expuestos a altas humedades relativas.

Palabras clave: Calcio, harinas, perfil viscoamilográfico, maíz, rendimiento

INTRODUCCIÓN

La harina de maíz nixtamalizado es el producto que se obtiene de la molienda de los granos sanos limpios, previamente nixtamalizados y deshidratados (NOM-187-SSA1/SCFI-2002). Se considera que a partir de harina de maíz nixtamalizada el subproducto como la masa es utilizada para producir tortillas, las cuales son la principal fuente de calorías, proteínas y calcio para la población de bajos recursos económicos (Campus-Baypoli *et al.*, 1999) que es una matriz compuesta principalmente por fracciones de endospermo, germen, pericarpio y matriz proteica (Gómez *et al.*, 1987).

En México en el año de 1949 se desarrolló el proceso para la elaboración de harinas de maíz nixtamalizada, con la finalidad de prolongar la vida de anaquel del maíz y tener productos posteriores como tortillas, galletas, botanas, tostadas entre otros. En los albores del siglo XXI, se destaca un mayor consumo de tortillas elaboradas con harina nixtamalizada con un porcentaje de 47.5 % debido a que se eliminan labores intensivas y tediosas al proceso tradicional-artesanal y se reduce a un tiempo de solo veinte minutos para obtener producto (Palacios-Fonseca *et al.*, 2009).

Las plantas industriales que producen harinas utilizan tecnología mecanizada para el proceso, empleando básicamente los mismos pasos que el proceso artesanal, pero el granulado obtenido se somete a dos operaciones unitarias adicionales como el secado y la molienda. Sin embargo, las condiciones de proceso varían y con esto se afectan las condiciones de calidad de los productos finales por lo que se obtienen tortillas con diferente textura y sabor (Bello-Pérez *et al.*, 2002).

Fernández Muñoz *et al.* (2002) demostraron que los cambios en las propiedades fisicoquímicas de las harinas dependen de la temperatura, del tiempo de reposo, de la técnica de lavado del maíz durante el proceso y de las condiciones de almacenamiento. Estos resultados están en correlación con lo reportado con Rojas-Molina *et al.* (2009) quienes publicaron que la concentración de calcio en las harinas de maíz está en función de las condiciones de proceso. Por otro lado Almeida-Domínguez *et al.* (1996) demostró que las propiedades de las harinas

instantáneas de maíz están determinadas por su distribución de tamaño de partículas y Bressani *et al.* (2001) establecieron que las propiedades físicas y reológicas de las harinas se afectan por su grado de gelatinización y cantidad de agua adicionada, así como, la concentración de calcio, grasa y fibra cruda. Un parámetro no menos importante que debe considerarse en las harinas de maíz nixtamalizado, es el pico de viscosidad máximo que desarrollan las harinas en su evaluación de la viscosidad aparente; esto garantiza, el grado de gelatinización y de que los productos elaborados pueden tener buenos atributos de textura deseables al consumidor (Palacios-Fonseca *et al.*, 2009).

Las propiedades de las harinas de maíz nixtamalizadas, pueden ser diferentes por la calidad del maíz utilizado como materia prima (Martínez-Herrera y Lachance 1979; Serna-Saldívar *et al.*, 1993) por el tipo de tecnología empleada en la manufactura (Gómez *et al.*, 1987) y por las variaciones en las condiciones de proceso manejadas para su elaboración (Bedolla y Rooney, 1984).

Otros factores importantes en las harinas son la capacidad de retención de agua, el pH, el color y el tamaño de partícula del granulo de almidón. En este sentido, si el tamaño de partícula del granulo de almidón es intermedio o pequeño se gelatinizará y retrogradará más fácilmente, situación que afectará negativamente las características de la harina rehidratada al reducir la cohesividad y la plasticidad de la masa (Paredes-López *et al.*, 2000).

La distribución de tamaño de partícula se considera el criterio más importante para aplicaciones de harina para masa. La Norma NMX-046-S-1980 establece que el 75 % de la harina debe pasar por el tamiz 60 USA. Las tortillas requieren de una distribución de tamaño de harina para un buen desarrollo de flexibilidad, cohesión y rollabilidad, mientras que las frituras de maíz y tortilla chips requieren una distribución de tamaño de partícula gruesa para promover que sean crujientes. Las partículas más pequeñas son responsables de la mayor parte de la absorción de agua, la cohesión, la plasticidad de la masa y la suavidad de las tortillas. Por otro lado, se consideran a las partículas grandes responsables de las características tales como textura crujiente y formación de ampollas de los productos fritos. Las partículas grandes interrumpen la red de masa, pero disminuyen la absorción de

aceite durante la fritura (Sahai *et al.*, 2002). Actualmente la harina de maíz nixtamalizada ha desbordado las fronteras de México con una amplia perspectiva y rápido crecimiento en la comunidad europea y en Estados Unidos para utilizarla como materia prima en la elaboración de botanas y productos extrudidos. La fabricación de harinas instantáneas de maíz llegó a considerarse un logro esto debido al ritmo acelerado en que se vive, ya que elimina varias y prolongadas actividades para el ama de casa. Aquellas relativas al proceso de fabricación (cocimiento, reposo y molienda); el producto se presume, es más homogéneo, existe un mejor control higiénico durante su elaboración, lo que permite aumentar su vida de anaquel (Gómez-Aldapa *et al.*, 1996). Sin embargo, su principal desventaja radica en una menor calidad, respecto al sabor y la textura, comparados con los productos elaborados por el método tradicional. Con base en las investigaciones señaladas anteriormente, el propósito de este trabajo consistió en realizar una evaluación de harinas nixtamalizadas durante seis meses, considerando veinte días consecutivos por mes para ver si cumple con los estándares de calidad ya que el producto durante esos meses trabajados ha presentado la formación de grumos y terrones provocando problemas, en sus procesos finales o subproductos. Es de interés encontrar cuales son los factores que modifican las características de las harinas de maíz nixtamalizado para poder dar recomendaciones a la industria harinera.

Capítulo 1

Antecedentes

1 Antecedentes

1.1 Generalidades y calidad del maíz para la industria harinera

La calidad del grano de maíz está asociada con su composición física, que determina la textura y la dureza de su endospermo, así como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características resultará del destino de la producción, ya que los mercados son cada vez más exigentes interesándose por el contenido de proteínas, almidón y aceites. Las características de calidad del grano para producir harinas incluyen rendimiento harinero, propiedades físicas como la dureza, espesor y porcentaje del pericarpio y las propiedades químicas como el porcentaje mínimo de grasa para evitar el rápido enranciamiento de los productos procesados con harinas (Palacios-Fonseca *et al.*, 2009).

La harina comercial es una mezcla de fracciones finas y gruesas, mezcladas en proporciones cuidadosamente calculadas con el fin de ser utilizadas para productos específicos. La clasificación de harinas generalmente se hace en función de su granulometría y en los mercados de Estados Unidos de Norteamérica existen más de 30 tipos de harina de maíz (Gómez *et al.*, 1987).

Otros factores importantes a considerar en las harinas son: la capacidad de retención de agua, el pH, el color y el tamaño de partícula del almidón. En este sentido, si el tamaño de partícula del almidón es intermedio o pequeño se gelatinizará y retrogradará más fácilmente, situación que afectará negativamente las características de la harina rehidratada al reducir la cohesividad y la plasticidad de la masa (Paredes-López *et al.*, 2000). En años recientes, las harinas nixtamalizadas de maíz se producían industrialmente utilizando básicamente la misma tecnología que la que se utiliza para obtener la masa, pero con diferentes condiciones de proceso. Las etapas del proceso son básicamente: limpieza, selección, cocción alcalina, reposo, drenado, primer y segundo lavado, molienda húmeda, secado, molienda para obtener como producto final la harina de maíz nixtamalizado con diferentes tamaños de partícula (Rodríguez-García *et al.*, 2008).

1.2 Definición y composición química de la harina de maíz nixtamalizado

Harina: producto deshidratado que se obtiene de la molienda de los granos de cereal con diferente granulometría, la cual será específica para cada necesidad. Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002.

La composición química solicitada para la elaboración de harina de maíz nixtamalizado (HMN) se reporta en el Cuadro 1.1, dicha composición representa el promedio de 12 harinas de maíz nixtamalizado de distintas marcas de la ciudad de México (Bressani *et al.*, 2001).

Cuadro 1.1 Composición química promedio de Harinas de maíz nixtamalizado

Harina	Humedad (g/100g)	Proteína (g/100g)	Grasa (g/100g)	Cenizas (g/100g)
1	8.29	7.88	3.45	1.59
2	9.88	7.98	3.83	1.60
3	12.70	7.48	2.16	2.70
4	10.43	7.75	3.77	1.79
5	8.22	8.11	3.53	1.95
6	12.62	7.94	3.04	1.90
7	7.86	8.01	3.15	2.78
8	8.59	7.64	3.72	1.65
9	9.93	6.68	3.27	1.25
10	12.32	7.77	3.05	1.14
11	11.41	7.46	3.42	1.39
12	8.83	8.11	3.23	1.22
Promedio	10.09	7.76	3.22	1.75
D.E. (+/-)	1.80	0.41	0.46	0.53

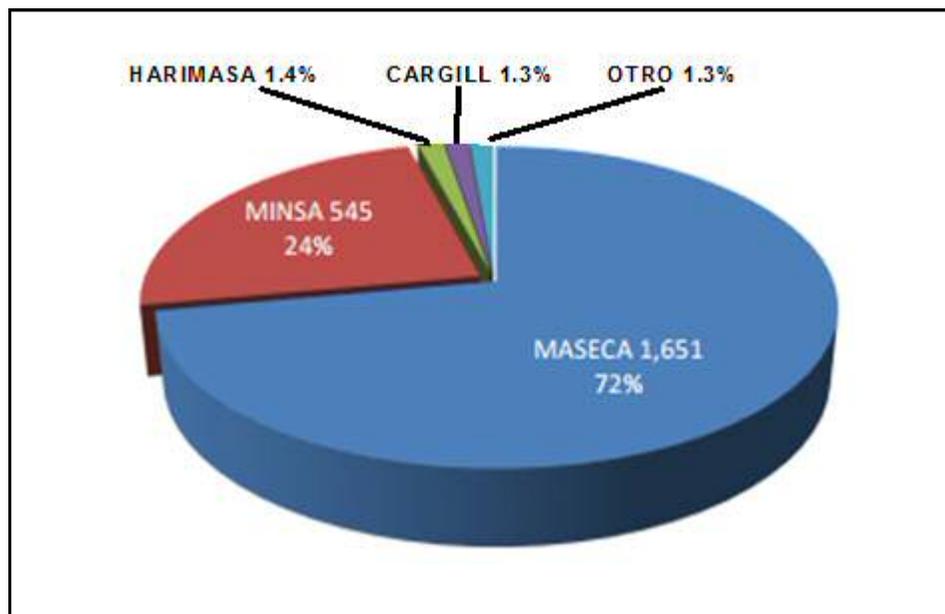
Fuente: Bressani *et al.* (2001)

En el Cuadro 1.1 se puede apreciar la composición química de diferentes marcas de harina de maíz nixtamalizado de consumo humano que se comercializan en Centro América, las cuales se compraron en diferentes supermercados. Estas características incluyen, humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra dietética, las

diferencias fueron significativas entre harinas con excepción de la grasa y se puede observar que el contenido de proteína fue bajando, variando entre 6.7–8.1 g/100g y el de fibra dietética total entre 7.7- 12.0 g/100g en base seca (Bressani *et al.*, 2001).

1.3 Estadísticas de producción de harina de maíz nixtamalizado en México

La industria harinera de maíz en México está concentrada en pocas empresas, destacan por orden de importancia las siguientes que se presentan en la Figura 1,1 : Grupo Industrial MASECA que participa con 71.2% del mercado, MINSA con 23.54%, HARIMASA con 1.4%, CARGILL de México con 1.3%, MOLINOS ANAHUAC con 1.1%, AGROINSA con 1.2 y Productos Manuel José con 0.2%.



Fuente: SE-DGIB con base en información del INEGI (2010)

Figura 1.1. Gráfica de la producción de harina de maíz nixtamalizada en México

Desde el punto de vista de la demanda del maíz, el grano se utiliza para consumo humano, uso industrial en extracción de almidón y para la producción de alimentos balanceados (Ramírez y Vega, 2008).

En la Figura 1.1 se muestra la participación en la producción de harina de maíz nixtamalizada en México y se puede observar que MASECA domina el mercado con alrededor de 72% de la producción de harina.

Información del INEGI muestra una producción creciente en la industria harinera de maíz en México. En el periodo 2003-2010, la producción mostró una TMCA (Tasa Media de Crecimiento Anual) de 11.2%, alcanzando un valor de 15,750 millones de pesos en 2010 y una generación de cerca de 5,000 empleos en ese mismo año. En la información de la encuesta industrial mensual se muestra que en 2010 la producción de harina de maíz alcanzó las 2.28 millones de toneladas, luego de haber alcanzado su nivel máximo de 2.31 millones en 2009, lo anterior significó una contracción de 1.1%. A pesar de lo anterior, en 2010 la producción de harina se recuperó en un 5.3% lo cual se muestra en la Figura 1.2.



Fuente: SE-DGIB con base en información del INEGI (2010)

Figura 1.2 Gráfica de la producción y empleo en la industria harinera de maíz

Como se puede observar en la Figura 1.2 desde el 2006 hasta el 2010 hay un crecimiento en la producción y empleo, esto hace referencia que México es un país con alto consumo de maíz.

1.4 Principales empresas que producen harina de maíz nixtamalizado.

La industria de la harina de maíz nixtamalizada es la tercera industria más importante consumidora de maíz. En México existen tres empresas que manejan el mercado de dicho producto : MASECA, MINSA, AGROINSA , siendo las dos primeras las que participan con mayor porcentaje en dicho mercado.

El principal destino de la harina de maíz es la industria de la tortilla . El tipo de harina que ofrecen las diferentes empresas productoras de harina de maíz nixtamalizado depende de las necesidades del cliente manejando las diferentes variables (granulación, tiempos y temperaturas de cocimiento y remojo, híbridos de maíz y contenido de aditivos) según convenga. El tipo de maíz que utiliza esta industria es criollo, blanco dentado y semidentado , duro y semicristalino, así como algunas variedades híbridas.

A continuación se mencionan las principales empresas productoras de harina de maíz nixtamalizado en México así como características y productos existentes:

- **MASECA**

Nació en 1949 en Nuevo León. En la década de los noventa mostró una expansión muy rápida, hasta controlar 72 % del mercado de harina de maíz nacional. MASECA también se extendió en Estados Unidos y Centroamérica.

La industria tiene un total de 28 plantas productoras de harina de maíz: 19 en México (Sonora, Tamaulipas, Veracruz, Michoacán, Nayarit, México, Guanajuato, Chihuahua, Sinaloa, Jalisco, Nuevo León, Yucatán, Baja California), 5 en E.U.A. y 4 en Centroamérica. Además cuenta con 14 plantas de fabricación de tortillas de maíz, trigo y frituras: 3 en México, 10 en E.U.A. y 1 en Centroamérica. En el caso de MASECA, ha organizado los llamados “Club de maíz” que ofrece a los

productores agrícolas interesados en el cultivo del maíz la compra segura y oportuna de su producto. Algunos requisitos para pertenecer a dichos clubes son:

- a) Solvencia moral.
- b) Disponibilidad para realizar innovaciones tecnológicas.
- c) Unidades de producción con vocación maicera.
- d) Vías de comunicación accesibles.
- e) Un radio de 80 Km de las plantas harineras entre otros.

El esquema del “Club de maíz” ha permitido que en las zonas cercanas a plantas de MASECA, la agricultura tradicional se convierta en comercial e intensiva. El Grupo Maseca (Gruma) estimó que para el año 2000 tendría una capacidad de abasto de 1 millón 500 mil toneladas de maíz, es decir 83% de la capacidad requerida de las plantas de Gruma que es de 1.81 millones de toneladas de maíz lo que significa una producción de 1.7 millones de toneladas de harina de maíz nixtamalizado.

Maseca es el principal fabricante a nivel mundial de plantas para producción de harina de maíz, tortillas y “chips”; se puede afirmar que México es líder mundial en cuanto a tecnología de producción de tortillas a nivel Industrial.

- **MINSA**

Inició operaciones en 1952 y fue adquirida por un grupo de inversionistas en octubre de 1993, para transformarse en la empresa que ahora es conocida como *MINSA*. Desde entonces, *MINSA* se ha distinguido por ser una empresa competitiva cuyo desarrollo depende de la calidad de sus productos, innovaciones, empleo de nuevas tecnologías, promoción de la investigación en su campo y satisfacción de sus clientes. Lo anterior, ha contribuido a que se defina como una organización vanguardista con presencia y éxito en el mercado nacional e internacional.

Cuenta con cuatro líneas de harina diseñadas para adaptarse a las necesidades específicas de los diferentes canales de comercialización, compitiendo favorablemente para optimizar la relación costo-beneficio para el público consumidor.

MINSA ha desarrollado nuevos productos como la masa de maíz azul (se dirige principalmente a los fabricantes de tortilla azules y hojuelas azules en E.U.A. y el extranjero; se utiliza principalmente en el mercado de la hojuela de tortilla especializada, gourmet y orgánica) y masa de maíz orgánico.

- **AGROINSA**

AGROINSA es una empresa dedicada a la producción y comercialización de harinas de trigo y maíz nixtamalizado, grits (sémolas de maíz) para la industria de botanas extruidas, cereales para desayuno y cervecera, así como de alimentos balanceados para consumo animal.

La exitosa combinación entre la experiencia y dinamismo de la gente, aunada a la utilización de materias primas seleccionadas y a estrictos controles en todos los procesos, permite ofrecer productos líderes en calidad.

Cuenta con dos plantas:

La planta Monterrey fue fundada en 1956, esta empresa nace bajo el nombre de Agroindustrias Integradas del Norte (Monterrey); en abril de 1990, reorganiza su administración como empresa privada con capital 100 por ciento mexicano.

Agroinsa Monterrey tiene una capacidad anual de producción en toneladas de: Harina de Maíz con 110,000, Harina de Trigo con 98,000, Grits con 19,800 y Alimentos Balanceados con 90,000, dando un total de 508,000 toneladas, contando además con la capacidad de almacenaje de granos de 75,000 toneladas en los silos.

La planta de Celaya inicia operaciones en 1998 como resultado de la creciente demanda del mercado de la industria de la tortilla en México. Es una empresa 100 por ciento mexicana que se dedica a la producción y comercialización de harina de

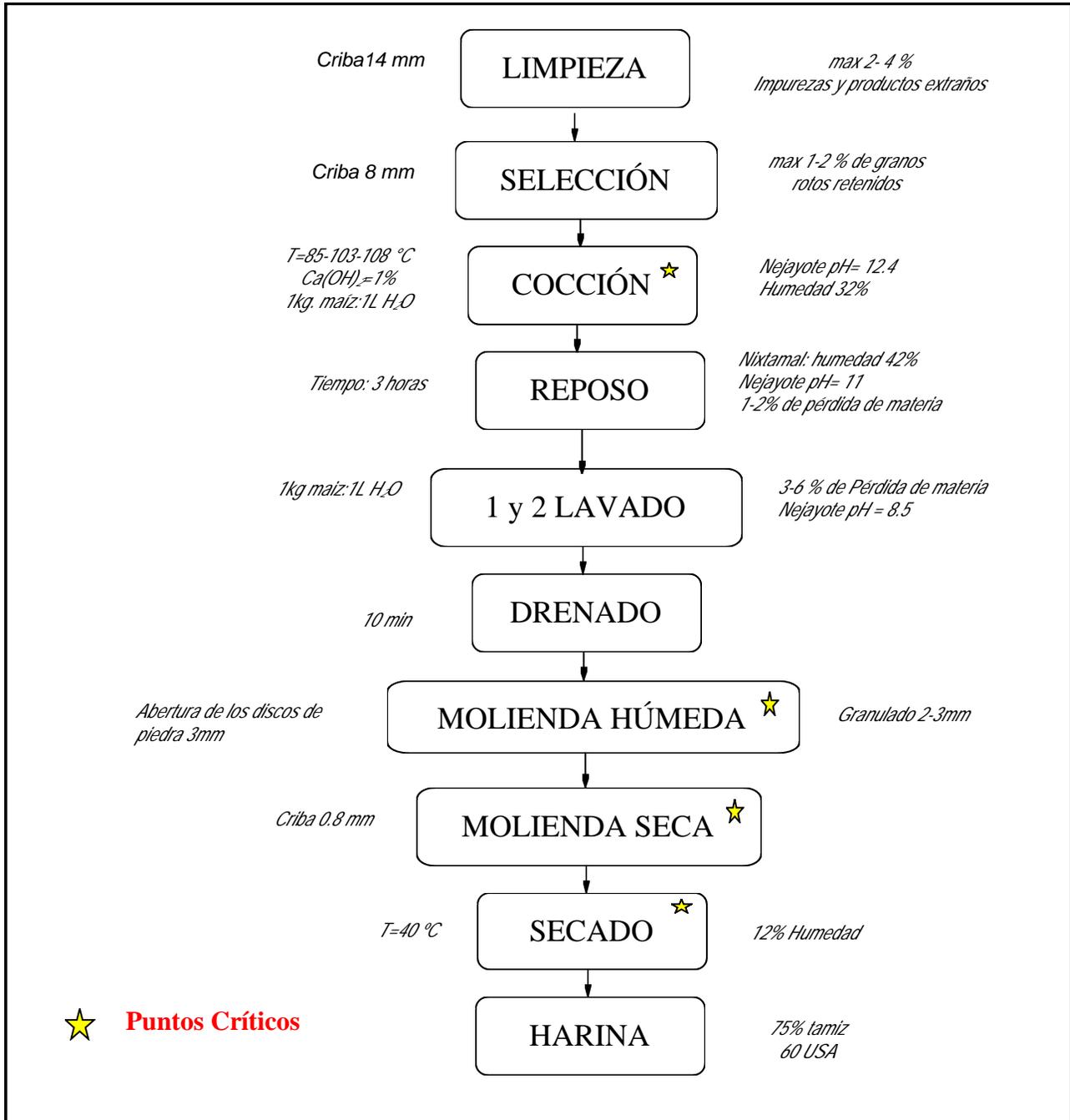
maíz nixtamalizado. Agroinsa Celaya tiene una capacidad de producción anual de 110,000 toneladas de harina de maíz nixtamalizado; contando también con silos con capacidad de almacenaje de 30,000 toneladas de granos.

1.5 Descripción del proceso de nixtamalización

Nixtamalización, palabra derivada del Náhuatl que se compone de las palabras “nixtli” que significa cenizas o cal y “tamalli” que significa masa de maíz, por lo que tal tratamiento involucra un cocimiento alcalino de los granos de maíz en agua con cal (Paredes-López *et al.*, 2000).

La nixtamalización es un proceso muy antiguo desarrollado por las culturas Mesoamericanas y aún es utilizado para la producción de tortillas. La nixtamalización produce cambios que mejoran la calidad nutricional del maíz. De acuerdo a la NOM-147-SSA1-1996, se denomina maíz nixtamalizado o nixtamal, al maíz sano y limpio que ha sido sometido a cocción parcial con agua en presencia de hidróxido de calcio (cal).

La Figura 1.3 hace referencia al diagrama de bloques que explica cómo se lleva el proceso de nixtamalización, incluye condiciones de proceso y puntos críticos. Después aparece la descripción del proceso en cada uno de los bloques y de las operaciones unitarias. Adicionalmente explicando cada una de las operaciones unitarias involucradas y la justificación de su punto crítico.



Fuente: Fernández et al., 2002

Figura 1.3 Diagrama de Bloques de la producción de harina de maíz nixtamalizado

Este trabajo no se utilizó los parámetros del proceso tecnológico de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado para obtener las muestras, ya que fueron directamente recolectadas en planta, pero se describe cada uno de los procesos y como se lleva a cabo en la descripción general del proceso de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado (HMN).

Recepción: El maíz es recibido, generalmente a granel, en camiones, furgones o tráiler, y es seleccionado, según su calidad, tomando muestras y analizándolas. En este paso se eliminan los vehículos que contiene un maíz con alto porcentaje de daños, humedad e impurezas, ó en su defecto se aplican multas de acuerdo a la NMX-FF-34 (Del Valle, 1972).

Almacenamiento: El maíz seleccionado y limpio es enviado al almacenamiento en silos ó bodegas (Del Valle, 1972), secos y ventilados (CODAI), para posteriormente ser nixtamalizado.

Limpieza: Durante esta etapa el grano se hace pasar por una criba móvil de 14.0 mm para eliminar basura, materiales ferrosos, piedras, restos de olote y productos extraños, terrones de lodo, restos de hoja, etc. que se quedan retenidos. Generalmente se contempla que se encuentra entre un intervalo entre 2-4 % como máximo (Báez y Martínez, 1990). Las operaciones necesarias para la limpieza del maíz son:

Selección: Se realiza en una criba de 8.0 mm para seleccionar granos de tamaño homogéneo. Estos quedan retenidos en la criba. Se eliminan granos picados, rotos, demasiado pequeños y dañados por plaga que son los que pasan la criba móvil. Esta se encuentra por debajo de la de 14 mm (Báez y Martínez, 1990).

Cocción: Los granos de maíz se exponen a tratamiento térmico-alkalino por vapor, por cada Kg se requiere un litro de agua, con un juego de temperaturas superiores a 80 °C en un tornillo sin fin enchaquetado, las temperaturas a lo largo del tornillo son 85°C-103-108 °C durante 30 minutos, al finalizar el grano alcanza humedades del 32 % . Después se vierten en un tanque con su solución caliente . Las características químicas de la solución alcalina durante la cocción deben ser tales que la concentración de cal en agua siempre exceda el punto de saturación del hidróxido de calcio. La concentración empleada durante el proceso fue del 1% con un pH inicial de 12.4. El grano de maíz se considera cocido cuando el pericarpio se desprende con facilidad del grano (Fernández *et al.*, 2002).

Reposo: En esta etapa, ya sin el calentamiento, se deja reposar el grano en su medio de cocción, en el mismo reservorio con la solución alcalina caliente, por un tiempo máximo de 3 horas . Aquí ya no se mezcla el líquido con los granos, la temperatura va descendiendo poco a poco. Al conjunto de granos hidratados y reposados se le conoce como nixtamal y al líquido de cocimiento como nejayote que tiene un pH aproximado de 11 . A simple vista se puede observar que la solución va cambiando su viscosidad y su color, debido a los sólidos que se han desprendido de los granos de maíz. La mayoría de los investigadores coinciden en que en esta etapa se promueven los principales cambios al maíz, porque el agua y los iones de calcio han penetrado al interior del grano y hay una importante pérdida de estructuras como son el endospermo, el germen y el pericarpio. La humedad de los granos de maíz es estable en un intervalo de 40-42% (Fernández-Muñoz *et al.*, 2002).

Drenado: Esta etapa de eliminación del nejayote se realiza en una criba durante 10 minutos para eliminar el líquido sobrenadante o nejayote, aquí se presenta una pérdida importante de materia entre el 1 y 2 % porque se eliminan fracciones de

pericarpio, y germen con calcio que se había fijado en el grano de maíz (Bedolla y Rooney, 1982).

Lavado: Generalmente se realizan dos lavados con un volumen de agua de un litro por kilogramo de maíz que se mezclan por 15 minutos. Su función es eliminar el exceso de calcio y disminuir el pH del grano. El agua del último lavado deberá tener un pH aproximado de 8.5 en aguas residuales, de otra manera ocasiona un mal sabor en los productos elaborados. Las condiciones de lavado son muy importantes dado que el nixtamal (grano tratado) está más hidratado, dependiendo del tiempo en que ha reposado y de que gran parte del pericarpio se ha dañado la pérdida de materia va desde el 3 al 6% en esta etapa. Finalmente el agua se drena y se elimina.

Molienda: El nixtamal ya lavado se lleva a una molienda en húmedo en un molino de discos con una distancia de abertura entre ellas de 3 mm, donde una de las piedras está fija y la otra gira para triturar el material, el que por fricción genera energía, aumentando considerablemente la temperatura y produciendo gelatinización parcial de los gránulos de almidón. Se obtiene un granulado que al hidratarse y manipularse produce una masa compuesta de germen, fragmentos de pericarpio, partículas de endospermo aglutinados por una mezcla parecida a un pegamento de gránulos de almidón fundidos, hojas de matriz proteica y lípidos emulsificantes (Mc Cabe *et al.*, 1985).

Secado: El granulado se descarga a una tolva de alimentación múltiple que la distribuye a un sistema de secadores rotatorios tipo clash a temperaturas que oscilan entre 40 y 45 °C, hasta llegar a una humedad de 12 % (Baez y Martínez, 1990)

Molienda: Para obtener harinas instantáneas, el granulado se vuelve a moler en un molino de martillos fijos (pulvex), donde el 75 % del material obtenido debe pasar en un tamiz 60 USA para darle usos en una gran variedad de alimentos y posteriormente se envasa en papel y se almacena.

Cernido: El material secado pasa a los cernidores para separar las partículas gruesas de las finas. Las gruesas retornan a los molinos, y las finas constituyen el producto final (harina) (Del Valle 1972). De las harinas obtenidas de varios cernidores se pueden hacer mezclas para obtener un producto con propiedades homogéneas (Rooney y Serna-Saldívar 1987).

A pesar de que el maíz, durante el proceso, pierde proteína, fibra, grasas y vitaminas, su calidad nutritiva es mayor que la de la materia prima. Cabe subrayar que gracias a este proceso un amplio sector de la población mexicana satisface sus necesidades diarias de calcio, carbohidratos y proteínas sobre todo en zonas marginadas de nuestro país (Serna-Saldívar et al., 1988).

Envasado: La harina es envasada en México, en una presentación básica de paquetes de 1 kg en ventas al menudeo para el consumo doméstico y presentaciones de sacos de 20 a 40 kg en ventas al mayoreo. El material de empaque empleado, en todos los casos, es papel en forma de doble envase. Una tercera presentación es la de los paquetes consistentes de 10 a 20 unidades de 1 kg (Báez y Martínez 1990).

1.6 Pruebas para harina de maíz Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002 que se realizan en las plantas de proceso

1.6.1 Materia Extraña

La materia extraña se separa por flotación y posteriormente se filtra para su observación al microscopio y se reporta la materia extraña encontrada en 50 g de muestra.

1.6.2 Acidez

Para la determinación del índice de acidez en los aceites y grasas que se utilizan en la fritura de los productos objeto de esta Norma, se debe aplicar el siguiente método:

Se basa en la determinación de los ácidos grasos libres presentes en la muestra, por medio de su valoración con una solución estandarizada de NaOH.

1.6.3 Determinación de pureza y metales pesados del hidróxido de calcio u óxido de calcio y magnesio en cal viva y cal hidratada.

Este método involucra a aquellos compuestos con alto contenido de calcio, como cal viva y la cal hidratada. La muestra se hace reaccionar en agua y se dispersa en ella. La cal se solubiliza por la reacción con el azúcar, formando el sucrato de calcio, el cual se cuantifica por titulación con una solución ácida estandarizada, usando como indicador a la fenoftaleína.

1.6.4 Determinación del óxido de calcio y magnesio, en cal viva (CaO) y cal hidratada Ca(OH)₂

El calcio y el magnesio son determinados por la titulación con EDTA (ácido etilendiamino tetraacético), después de la separación del sílice y del grupo hidróxido de amonio durante un análisis de rutina de CaO y Ca(OH)₂. Los ensayos también pueden realizarse después de una descomposición directa con ácido clorhídrico, seguida por eliminación del sílice e insolubles.

En el caso de que se encuentren presentes interferencias en cantidades que puedan causar problemas, éstas pueden ser suprimidas por la adición de agentes que enmascaran o formen complejos, como la trietanolamina.

Para la determinación de calcio, la solución se ajusta a un pH de 12,0 a 12,5 con solución de hidróxido de potasio y titulada con EDTA a un vire azul, usando como indicador azul de hidroxinaftol.

Tanto el óxido de calcio (CaO) como el óxido de magnesio (MgO), son titulados en una solución reguladora amoniacal (NH₃.NH₄Cl) ajustada a un pH de 10,0 a 10,5, usando Calmagita [Acido 1-(hidroxil-4-metil-2-fenilazo)-2-naftol-4-sulfónico] como indicador. El óxido de magnesio se calcula restando el EDTA equivalente al óxido de calcio presente, del EDTA equivalente al CaO+MgO.

1.7 Aditivos y conservadores que se adicionan a las harinas de maíz

En la elaboración de tortillas con harina de maíz nixtamalizado se utilizan aditivos para mejorar sus propiedades de textura y color, únicamente se permiten los que se mencionan en el Cuadro 1.2

Cuadro 1.2 Aditivos utilizados en harinas de maíz nixtamalizado para elaboración de tortillas pre envasadas

Nombre	Límite Máximo (mg/kg)	Observaciones
Acido benzoico ¹	2000	En harinas de maíz nixtamalizado

Acido sórbico ¹	3300	En harinas de maíz nixtamalizado
Benzoato de sodio ¹	2000	En harinas de maíz nixtamalizado
	1000	En tortillas
Metil p-hidroxibenzoato ¹	2000	En harinas de maíz nixtamalizado
	1000	En tortillas de maíz nixtamalizado
Ponceau 4R ²	320	En tortillas
Propil p-hidroxibenzoato ¹		
	2000	En harinas de maíz nixtamalizado

FUENTE: NOM-187-SSA1/SCFI-2002

1.8 Harinas de maíz nixtamalizadas fortificadas

Durante 2004 se estableció un grupo de trabajo para revisar la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996. Bienes y Servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. El propósito de esta revisión fue definir puntualmente las fuentes de adición de nutrimentos, considerando su biodisponibilidad; fijar los niveles de adición de nutrimentos de acuerdo con las recomendaciones de ingestión y las deficiencias reportadas; e incorporar la fortificación en harina de maíz nixtamalizado (CIMMYT, 2004). Cabe señalar que en septiembre de 1998, el sector industrial de las harinas de trigo y maíz, conjuntamente con la Secretaría de Salud y otras autoridades federales, habían firmado un convenio para adicionar, de manera voluntaria, diversos nutrimentos en las harinas de trigo y maíz. Posteriormente, luego de publicarse el proyecto en agosto de 1997, el 10 de diciembre de 1999 se publicó la

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, misma que entró en vigor el 10 de junio de 2000, se destaca que en ella se estableció la adición de hierro y ácido fólico en la harina de trigo, siendo a partir de 2001 cuando se inició la verificación del cumplimiento de estas disposiciones, que se presentan en el Cuadro 1.3.

Cuadro 1.3 Cumplimiento de fortificación de harinas período 2001-2003

	2001		2002		2003	
	Muestras Analizadas	Cumplimiento	Muestras Analizadas	Cumplimiento	Muestras Analizadas	Cumplimiento
Acido Fólico	25	68.0%	59	44.0%	95	25.3%
Hierro	22	63.6%	51	49.0%	93	57.0%

Hierro: 35 mg/kg

Fuente: CIMMYT, (2004)

Ácido Fólico: 2 mg/Kg

Los resultados derivados del monitoreo durante los años 2001 a 2003, indicaron un pobre cumplimiento de los niveles de adición (ver Cuadro 1.3) y reveló particularmente el uso de fuentes de hierro poco biodisponibles (hierro reducido, con alrededor de 1% de biodisponibilidad), se hizo énfasis en que la población adulta requiere en promedio, alrededor de 1 mg de hierro biodisponible al día. La revisión de la NOM-147-SSA1-1996 y los hallazgos derivados del monitoreo, conjuntamente con la información de la Encuesta Nacional de Nutrición 1999, llevaron a establecer las siguientes propuestas:

- Incorporación de 40 mg de hierro por cada k g de harina, a partir de sulfato ferroso o fumarato ferroso (fuentes tipo con biodisponibilidad de 5.3% y 5.0% respectivamente)
- 40 mg de zinc a partir de óxido de zinc (fuente tipo con 11% de biodisponibilidad)
- 2 mg de ácido fólico (casi 100% de biodisponibilidad)

de trigo	21	43	33%	40	39	51%	4	29	12%
Harina de maíz**	6	3	67%	35	1	97%	32	1	97%
*NOM-147-SSA1-1996									
**Convenio de Adición de Nutrimientos 1998									

D.E. Dentro de especificaciones

F.E. Fuera de especificaciones

1.9 Importancia del departamento de control de calidad en la planta

La calidad es un factor básico de decisión del cliente en productos y servicios que crece conforme avanza una industria y se moderniza la sociedad. La calidad de producto y servicio se puede definir como:

La resultante total de las características de producto y servicio de mercadotecnia, ingeniería, fabricación y mantenimiento a través de las cuales el producto o servicio en uso satisface las expectativas del cliente (CIMMYT, 2004).

Así se puede definir la calidad en una harina, como su capacidad para dar un producto final de excelentes características organolépticas como el sabor y el olor, de buen valor nutritivo y de costo competitivo.

Los factores que influyen en la calidad de una harina están en gran parte ligados a los componentes genéticos de las diversas variedades y a su eventual variación, debidas a la fertilización, al clima y a las infecciones en la planta.

Entre las ventajas que se obtienen al implementar sistemas que aseguren la calidad de los productos de una industria harinera están:

- Prevención o corrección de problemas durante la manufactura de harina.
- Reducción de defectos en producto terminado.
- Evitar variaciones en la producción (características de color, olor, sabor, textura, forma, homogenización)

- Satisfacción de clientes al ofrecer productos de calidad y por consecuencia obtener mejores ganancias e incluso mayor volumen de venta.
- Cumplimiento de la legislación sanitaria (CIMMYT, 2004).

1.10. Pruebas de calidad en harinas al finalizar el proceso y durante almacenamiento

1.10.1 Humedad.

El contenido de agua de la harina es una característica importante, particularmente en relación con la seguridad de su almacenamiento. La especificación de humedad en la harina, se determina por pérdida de peso cuando se calienta a 100° C durante 5 horas a vacío ó a 130° C durante 1 hora a presión atmosférica. La prueba se puede realizar por estufa de convección, estufa de vacío o por termobalanza.

1.10.2 Pruebas de sustancias extrañas

El recuento de pelos de roedores y fragmentos de insectos en la harina, se practica digiriendo ésta y añadiendo el digerido enfriado sobre el petróleo en un embudo de decantación. Los pelos y fragmentos de insectos quedan retenidos en la interfase petróleo/ agua donde se pueden recoger e identificar microscópicamente (NOM-147-SSA1-1996).

1.10.3 Análisis de tamaño de partículas

Se puede realizar por diferentes técnicas : Con el método de embudo de Simón, con el contador de Coulter, por el método de la pipeta de Andreasen o con la dispersión de la luz láser, pero el más utilizado es el análisis por tamizado.

El análisis por tamizado consiste en la separación mecánica de las diferentes fracciones de tamaño del material por medio de un juego de tamices.

La abertura de orificios es conocida, debido a que se selecciona la serie de tamices a utilizar . Los tamices están confeccionados por un tejido metálico de agujeros cuadrados. El grosor de los alambres y el tamaño de ellos esta normado

y depende del sistema utilizado. Los sistemas de tamices más utilizados son las series Tyler (Gran Bretaña), escala A.S.T.M. (E.U.A.), escala Gost 3585-73 (URSS) y la escala internacional ISO. En todos estos sistemas el tamaño de los agujeros de dos tamices consecutivos está relacionado mediante un módulo igual o aproximadamente igual a la raíz cuadrada. Los tamices se colocan uno encima de otro de mayor a menor abertura. La muestra de sólidos granulares cuidadosamente pesada de 100 g se vierte en el tamiz superior de la pila, después se coloca su tapa y entonces el conjunto de tamices es colocado en un Rot-tap y sometido a vibraciones y golpes durante un período de tiempo, para harina de maíz nixtamalizado el tiempo recomendado es de 10- 15 minutos. De tal manera que el cernido de los tamices, se efectúa a través de toda la pila de tamices que tengan una abertura de orificios mayor que el tamaño de las partículas dadas y queden retenidas sobre el tamiz que tenga una abertura de agujeros menor. Cuando el proceso termina, se pesa cada tamiz incluyendo a la charola. Los datos son recolectados en una tabla. El análisis que se realiza puede ser: gráfico, tabular o analítico de acuerdo a las necesidades del trabajo. Si es gráfico, se puede realizar una gráfica diferencial o una acumulativa. Para la harina de maíz nixtamalizado la gráfica diferencial tiene un comportamiento de campana y presenta un máximo. De la gráfica acumulativa se puede obtener el rendimiento, debido a que el 75 % de la harina debe pasar por el tamiz 60 USA (NMX-046-S-1980; Rosabal y Garcell, 1998, Zeki-Berk, 2009).

1.10.4 Almidón alterado

El grado de alteración del almidón en la harina influye su capacidad para absorber agua. Esta alteración se estima con métodos que miden la cantidad de maltosa liberada del almidón por la acción de la amilasa. Solamente los granos lesionados son susceptibles a la amilasa en estado no gelificado. Otra técnica utilizada más práctica, pero más costosa por el equipo utilizado, es la viscosidad aparente

realizada en un viscoanalizador, para establecer el pico máximo de viscosidad y el desarrollo de la misma (Singh *et al.*, 2003).

- **Perfil viscoamilografico**

El almidón es usado ampliamente en la industria alimenticia como espesante, por lo tanto es necesario saber el comportamiento en cuanto al desarrollo de viscosidad debido a que de éste depende la textura que tomará el producto final, además se realizan monitoreos en diferentes etapas del proceso. Se sabe que el almidón con exceso de agua, al aplicarle calor, forma un gel y la viscosidad que genere el almidón puede medirse mediante un instrumento llamado Rapid Visco Analyzer (RVA) o un reómetro con celda de almidones (Singh *et al.*, 2003).

La Figura 1.4 muestra un perfil de viscosidad típico de un almidón en el cual indica los parámetros que usualmente se obtienen con este tipo de medición. A continuación se definen los parámetros según lo reportado en la literatura que son monitoreados en una gráfica del perfil de viscosidad. En harinas de maíz nixtamalizado, el punto más importante es el pico máximo de viscosidad presentado, ya que este refleja el estado de la harina, después de su procesamiento. Esto es un indicativo de cómo se realizó el procesamiento de los granos de maíz, en su tratamiento térmico alcalino y su molienda húmeda y seca del granulado.

- a) **Temperatura de pastificación**

La temperatura de pastificación provee una indicación de la temperatura mínima requerida para la cocción de una muestra, la cual puede variar, ya que hay implicaciones debidas a la estabilidad que posean otros compuestos de la muestra, proveyendo además gastos de energía (Roger s, 2010) . Sin embargo, Jin-Song (2008) dijo que las mediciones de la temperatura de pastificación utilizando un instrumento de RVA no pueden reflejar un valor verdadero de la temperatura de gelatinización.

- b) **Pico de viscosidad**

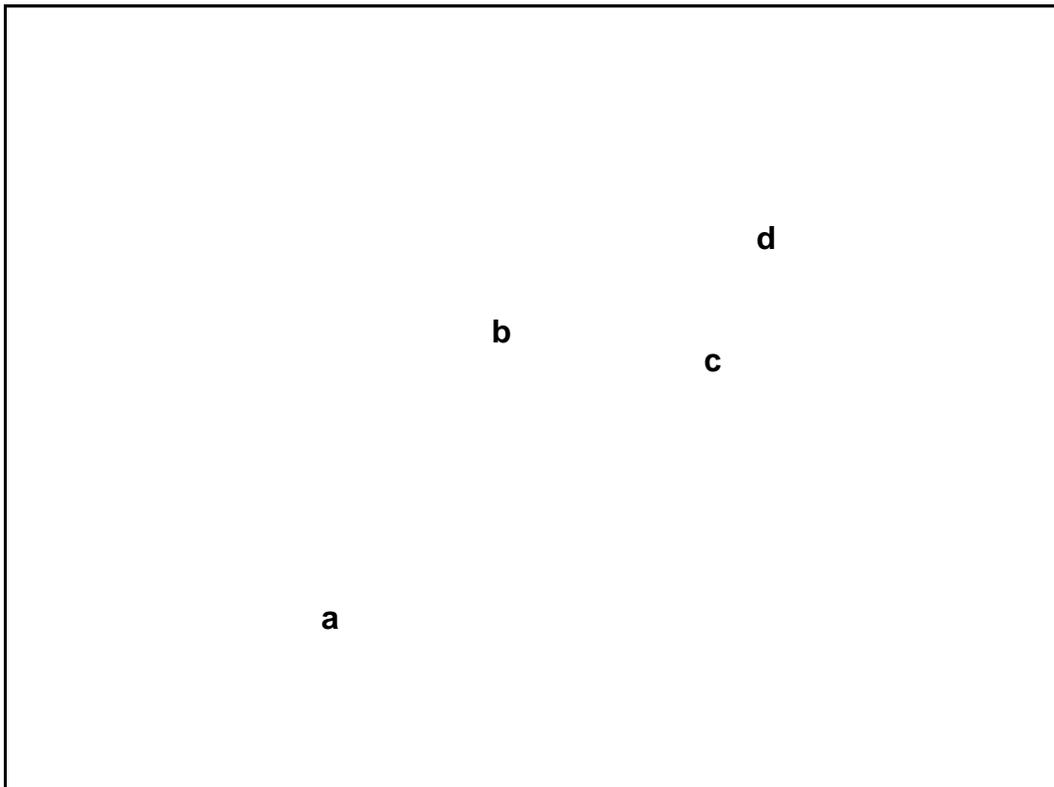
El pico de viscosidad indica la capacidad y habilidad de absorción de agua de los gránulos de almidón, además ocurre un cese del hinchamiento. En este punto se presenta un equilibrio entre los gránulos hinchados y los polímeros lixiviados. (Rogers, 2010; Dengate, 1984; Singh *et al.*, 2003).

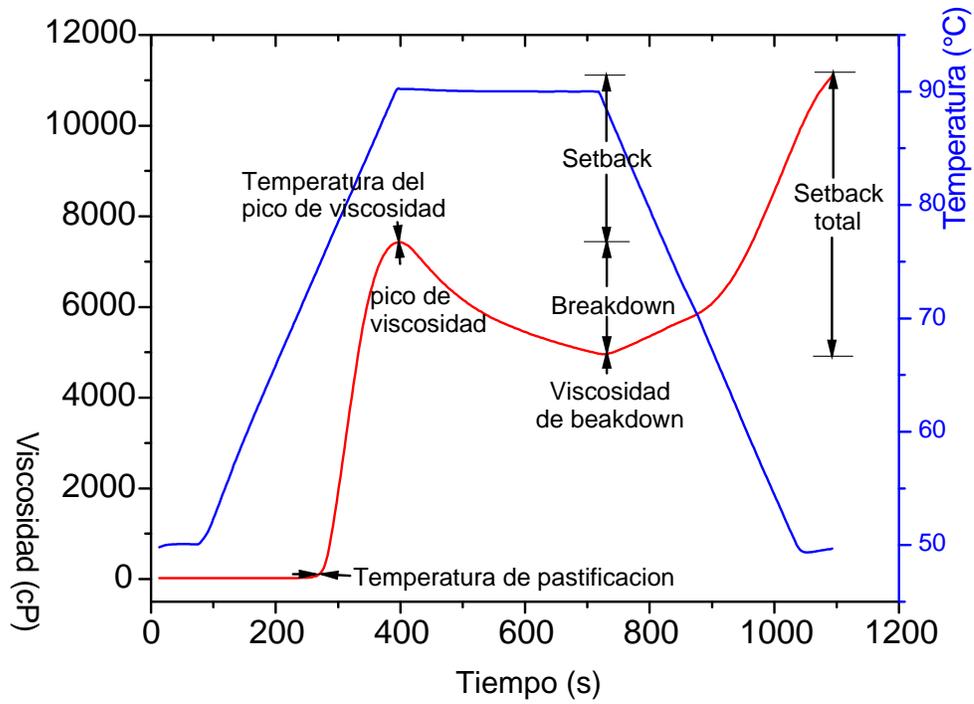
c) Breakdown

Según Jan *et al.* (2013), el breakdown es una medición del grado de desintegración de los gránulos de almidón o la estabilidad de la pasta. Teniendo en cuenta la morfología de los gránulos, el breakdown es un resultado de la desintegración de la estructura de los gránulos de almidón causados por las fuerzas de cizallamiento (Vandeputte *et al.*, 2003).

d) Setback

El setback es una medida de la tendencia a retrogradar o sinéresis del almidón al enfriar la pasta. Este aumento en la viscosidad final principalmente es debida a la retrogradación de la amilosa lixiviada contenida en la pasta cocida (Jan *et al.*, 2013; Karim *et al.*, 2007).





Fuente: Jan et al., 2013

Figura 1.4 Perfil de viscosidad aparente para una harina

Capítulo 2

Metodología

Para la solución del problema : ¿Conocer los parámetros establecidos en una planta procesadora de maíz en la obtención de harinas de maíz nixtamalizado?, Se plantearon los cuatro objetivos.

Objetivo general:

Evaluar la producción mensual de harinas de maíz nixtamalizado de una planta procesadora mediante los parámetros establecidos por la norma mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, NMX-046-S-1980 , la concentración de calcio y perfil viscoamilográfico para conocer el control de proceso aplicado.

Objetivo particular 1:

Evaluar la composición química mediante técnicas del análisis químico proximal en la producción de harinas de maíz nixtamalizado durante un semestre, en los tres turnos para establecer si existe control del producto.

Objetivo particular 2:

Obtener la distribución de tamaño de partículas en harinas de maíz nixtamalizado producidas en una planta procesadora , a partir del análisis granulométrico para determinar el rendimiento harinero y establecer existe control durante las moliendas.

Objetivo particular 3:

Cuantificar la concentración de calcio en las harinas de maíz nixtamalizado por espectrofotometría de absorción atómica, para conocer si existe control sobre el tratamiento térmico-alcalino y la técnica de lavado.

Objetivo particular 4:

Determinar el perfil viscoamilográfico de harinas de maíz nixtamalizado en un viscoanalizador para conocer el pico máximo que presentan y correlacionarlo con el grado de gelatinización del almidón de la harina de maíz.

El desarrollo experimental se resume en el cuadro metodológico en la Figura 2.1 el cual proyecta el trabajo conjunto.

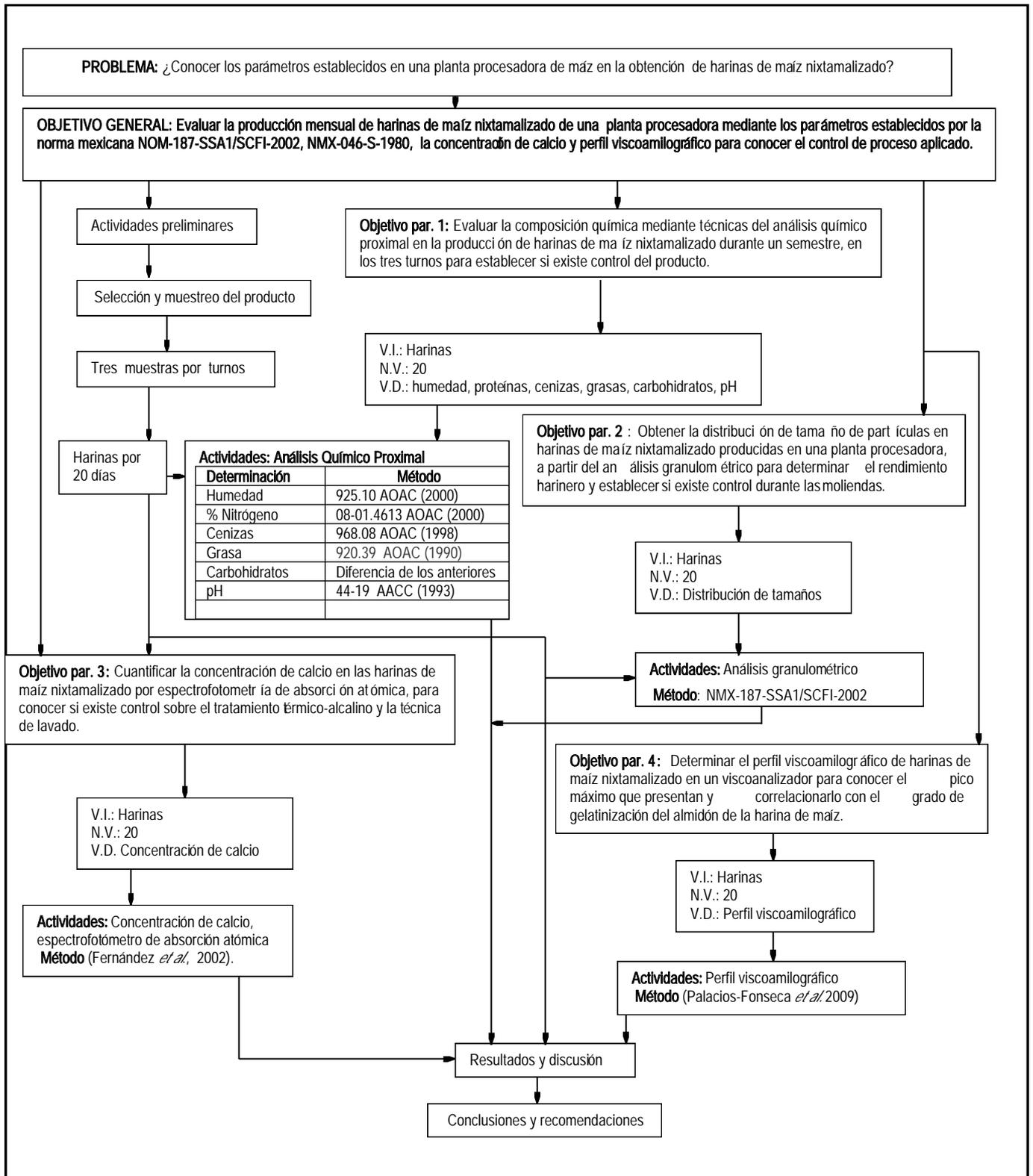


Figura 2.1 Cuadro Metodológico del desarrollo experimental

2.1 Actividades preliminares

Las harinas de maíz nixtamalizado fueron recolectadas en tres paquetes de un kilogramo por turno. A cada uno de ellos se le realizaron los análisis correspondientes de pruebas físicas y químicas.

Esta actividad se realizó durante toda la semana de lunes a viernes debido a que estos días tienen tres turnos. Los paquetes fueron tomados aleatoriamente durante cada uno de los turnos. Las muestras que corresponden a las unidades experimentales fueron obtenidas de cada uno de los paquetes.

2.2 Actividades para el objetivo 1

Evaluar la composición química mediante técnicas del análisis químico proximal en la producción de harinas de maíz nixtamalizado durante un semestre, en los tres turnos para establecer si existe control del producto.

2.2.1 Determinación de humedad de la harina de maíz nixtamalizado

Para la realización de la prueba se evaluó la muestra de harina de maíz nixtamalizado mediante el método 9 25.10 de la AOAC (2000), para establecer la variabilidad y obtener la desviación con respecto a la norma entre cada uno de los turnos de la operación.

Materiales y equipo

- Harina de maíz nixtamalizado
- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1mg (Modelo AS200, Marca OHAUS)
- Charolas de aluminio
- Estufa de vacío(Modelo 05015-51 Marca OAKTON)

Procedimiento:

Las cajas de aluminio fueron puestas a peso constante (ver Figura 2.2 a). Estas estuvieron pesadas en una balanza analítica 5 g de muestra en las charolas de aluminio (Ver Figura 2.2 b). Posteriormente las muestras se secaron en una

estufa a temperatura de 90 °C, hasta obtener un peso constante. Cada prueba se realizó por triplicado.

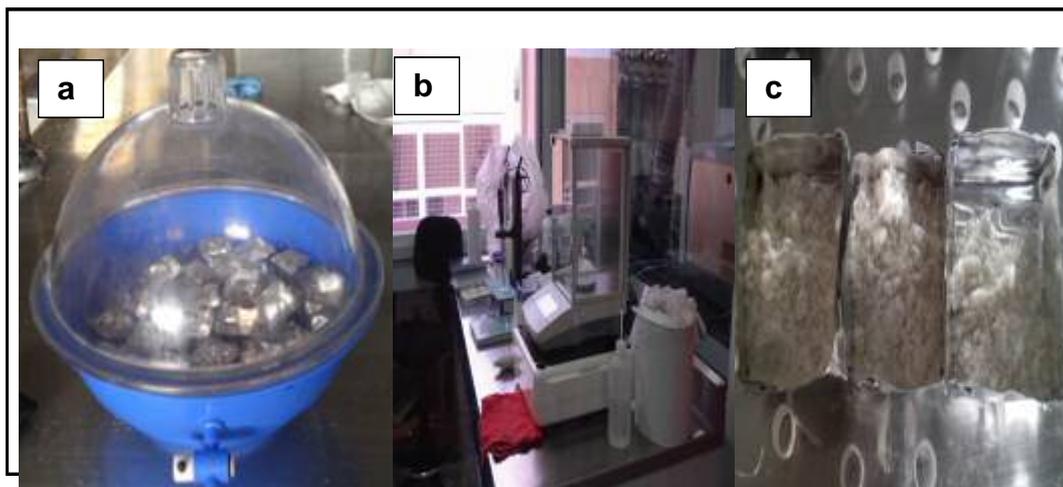


Figura 2.2 a) desecador con charolas a peso constante. 2.2b) balanza analítica. 2.2 c) muestras de harina de maíz nixtamalizado de un turno.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \left[\frac{\text{peso de la muestra seca (g)}}{\text{Peso de la muestra inicial (g)}} \right] 100$$

$$\% H = \frac{(A - B) \times 100}{M}$$

$$\% MS = 100 - \% H$$

Donde:

A = peso charola + muestra humedad (g)

B = peso charola + muestra seca (g)

M = peso muestra inicial (g)

MS = materia seca

2.2.2 Determinación de grasa

La determinación se realizó utilizando el método 30-25 AACC, 2000, con esta determinación se obtiene el contenido total de materia lipídica soluble en éter, por lo que se sobreestima su valor, ya que incluye ácidos grasos, lípidos simples y compuestos, prostaglandinas, esteroides lipídicos, pigmentos y vitaminas liposolubles. Esta fracción contiene no solo la grasa, sino que además incluye a las ceras, lípidos complejos como los fosfolípidos, compuestos derivados de los lípidos como los esteroides y varios pigmentos, hormonas y aceites volátiles, el método utilizado fue 920.39 AOAC (2000). El contenido de aceite en granos de maíz es un criterio que considera la industria, cuando el destino de la materia prima es producir harinas. Se requiere que el valor de aceite se encuentre entre 3.5 y 4.5% para evitar en el producto problemas de rancidez durante el tiempo de almacenamiento de las harinas (NOM-187-SSA1/SCFI/2002).

Materiales y Equipo

- Harina de Maíz Nixtamalizado
- Balanza analítica con una sensibilidad de 0.1mg (Marca OHAUS, Modelo AS200)
- Cartuchos porosos
- Arreglo de extractores soxhlet
- Desecador
- Para de calentamiento para arreglo de extractores soxhlet
- Soportes
- Estufa de secado (Marca OAKTON, Modelo 05015-51) a 100 °C
- Recolectores
- Éter etílico anhidro (C₂H₅)₂^o

Procedimiento:

Se llevó a peso constante los cartuchos de celulosa en una estufa de secado, posteriormente fue pesado en la balanza analítica tres gramos de muestra dentro del cartucho de acuerdo a la Figura 2.3 a y colocados dentro del matraz de extracción para dar paso al calentamiento, después se abrió la llave de agua, la cual debió de estar fría para que condensara el éter entonces se encendió el aparato que controlaba el calentamiento de la muestra, que posteriormente calentó los vasos en el extractor, una vez finalizado este paso, se agregó en los vasos 70 mL de éter etílico y se colocaron en el matraz tal y como se muestra en la Figura 2.3 b, después se dejó la extracción aproximadamente 5 horas tomando con una pieza de papel filtro una gota de solvente que pasa por el cartucho, y observar si permanece la mancha de grasa para introducir los vasos en la estufa a 60 °C durante 3 horas y se pesó en la balanza analítica con residuo lipídico, por último, se realizó por triplicado el procedimiento para cada una de las muestras obtenidas por turno obteniendo promedio y desviación estándar.

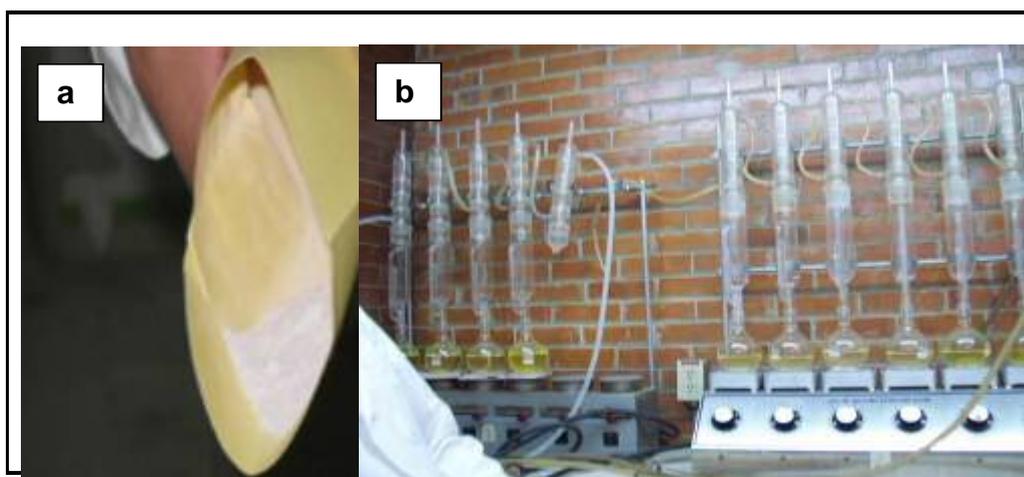


Figura 2.3 a) cartucho con harina. 2.3 b) extracción de aceite

Cálculos:

$$\%EE = \frac{(A-B) \times 100}{M}$$

Dónde:

A = peso del vaso con residuo lipídico (g)

B = peso constante del vaso (g)

M = peso de la muestra (g)

EE = % de Extracto Etéreo

2.2.3 Determinación de cenizas

Con esta determinación se obtuvo el contenido de cenizas o materia inorgánica total del alimento. Se llevó a cabo mediante calcinación de la muestra a 550 °C (ver Figura 2.4 a, b). Esta determinación fue importante porque se obtuvo la cantidad de minerales presentes en los granos nativos de las diferentes variedades utilizadas. La determinación se llevó a cabo por el método 08-01 AACC (2000).

Al ser incinerada la materia seca a 550 °C, se eliminaron los materiales orgánicos, quedando el residuo inorgánico o cenizas.

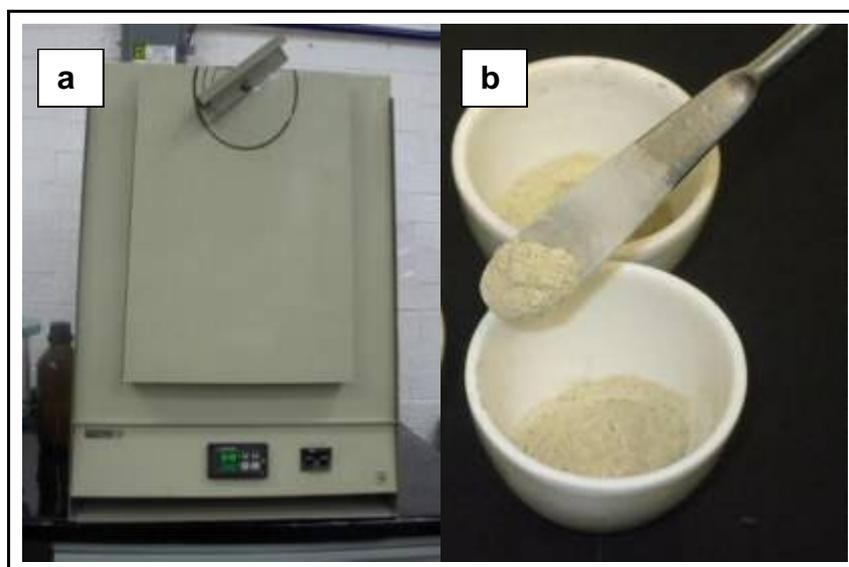


Figura 2.4 a) mufla de alta temperatura. 2.4 b) Determinación de cenizas en harinas

Materiales y equipo:

- Harina de Maíz Nixtamalizado AGROINSA
- Balanza analítica (Marca OHAUS, Modelo AS200) con sensibilidad de 0.1 mg
- Crisoles de aluminio
- Desecador
- Mufla (Marca LINDBER, Modelo 51894) de 550 °C

- Pinzas
- Guantes de asbesto

Procedimiento:

Fue pesado en la balanza analítica 5 g de muestra en crisol de aluminio llevado preliminarmente a peso constante para introducir las muestras en la mufla a 550 °C, hasta obtener cenizas blancas o grises sin partículas de carbón, posteriormente fueron retirados los crisoles de la mufla y fueron introducidos a un desecador para pesar los en la balanza analítica, por último, se realizó por triplicado el procedimiento para cada una de las muestras obtenidas por turno. Obtener promedio y desviación estándar.

Cálculos:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{peso de la muestra calcinada} \text{ (g)}}{\text{Peso de la muestra inicial (g)}} \times 100$$

*A - B

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(A - B) \times 100}{M}$$

$$\% \text{ MO} = 100 - \% \text{ cenizas}$$

Donde:

A = peso del crisol + cenizas (g)

B = peso del crisol a peso constante (g)

M = peso de la muestra inicial, g (w crisol + muestra- w del crisol a w constante)

Nota: se convirtió el % de cenizas en base a MS.

2.2.4 Determinación de porcentaje de nitrógeno

El método utilizado fue micro-Kjeldah I (Método 46-13, AACC, 2000) Con este método que se llevó a cabo se determinó el porcentaje de nitrógeno total que contenía la harina de maíz nixtamalizado. Este método se basa en la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formando sulfato de

amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila recibiendo en ácido bórico y finalmente se titula con ácido clorhídrico 0.1 N

Materiales

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1mg (Modelo AS200, Marca OHAUS).
- Matraz de digestión micro Kjeldahl con capacidad de 30 mL. (Modelo 27400-00, Marca KIMAX KIMBLE)
- Matraz de Erlenmeyer de 100 mL
- Pipeta de 5 mL.
- Pipeta de 10 mL.
- Frasco gotero de 25 mL.
- Pizeta grande con agua destilada.
- Perlas de vidrio
- Probeta de 25 mL
- Bureta de 50 mL
- Ácido clorhídrico
- Ácido bórico

Equipo

- Aparato digestor Kjeldahl. (Marca LABRONCO, Modelo 050435819)
- Aparato destilador micro Kjeldahl. (Marca PYREX, Modelo LABRONCO)

PROCEDIMIENTO

Fue llevado a cabo en tres etapas las cuales se describirán a continuación:

DIGESTIÓN:

Se pesó una muestra conteniendo de 15 a 30 mg de proteína de harina de maíz nixtamalizado en un matraz de micro Kjeldahl cuidando que la muestra no se adhiera a las paredes o al cuello del matraz para añadir 2.5 mL de H₂SO₄, y

aproximadamente 1.0 g de mezcla catalizadora (sulfato de potasio (K_2SO_4) y de sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) para someterlas a digestión en el aparato de micro-Kjeldahl bajo una campana de extracción, usando baja temperatura al inicio y aumentando el calor a medida que procede la digestión. La digestión terminó cuando el color de la muestra se mostró azul-verde claro.

DESTILACIÓN:

Se encendió la unidad destiladora, para abrir la llave del agua para tener H_2O circulando por el refrigerante todo el tiempo y añadiendo la muestra a la cámara de ebullición por medio de un embudo y enjuagando el matraz con aproximadamente 5 mL de H_2O destilada, colocando 1 matraz Erlenmeyer con 10 mL de ácido bórico y 2 gotas de indicador bajo la salida de destilación, teniendo un destilado de 30 aproximadamente 10 mL de la solución de NaOH a la cámara de ebullición. La mezcla digerida se tornó oscura (azul-gris o café oscuro). El destilado estuvo listo para ser titulado cuando se torna verde en el matraz receptor. Esta etapa se puede ver la Figura 2.5 que se utilizó un aparato destilado micro Kjeldahl



Figura 2.5 Etapa de destilación para la determinación del porcentaje de nitrógeno

TITULACIÓN:

Se tituló la muestra con 0.1N de HCl. Un color violeta indicó el punto final de la titulación. Compárese este color con el del blanco. Cada equivalente del HCl usado corresponde a un equivalente de NH_3 o a un equivalente de N en la muestra original.

El peso del N en mg está dado por miliequivalentes del ácido X 14 (el peso equivalente del N).

CÁLCULOS

Moles de HCl = Moles de NH_3 = Moles de N en la muestra

$$\% \text{ N} = \frac{\text{NHCl} \times (\text{Vol. título} - \text{Vol. blanco})}{\text{g de muestra}} \times \frac{14 \text{ g N}}{\text{mol}} \times 100$$

En donde:

NHCl = Normalidad del HCl en moles/1000ml.

Volumen del ácido corregido = (mL del ácido estandarizado para la muestra) - (mL. de ácido estandarizado para el blanco).

14 = Peso atómico del nitrógeno.

Se utiliza un factor para convertir el porcentaje de N a porcentaje de proteína cruda. El porcentaje de N en proteína para la harina de maíz es de 18% y su factor de conversión es de 5.55.

$$\% \text{ Proteína} = (\text{Porcentaje de Nitrógeno}) (\text{Factor } 5.55)$$

2.2.5 pH

El pH de las muestras se determinó con el método 44-19 AACC (2000) con un potenciómetro Jenco Electronics, Modelo 6071 como muestra la Figura 2.6 Las determinaciones se realizaron por triplicado en la cual se calculó el promedio y

la desviación estándar de los datos. Adicionalmente, se utilizó el procedimiento para harinas (Rojas-Molina *et al.*, 2009).

Materiales y equipo:

- Frascos de vidrio para vibrador
- Agitador magnético (VELP Científica, Mod. NTC-F20310177)
- Potenciómetro (Jenco Electronics, LTD, Mod. 6071)



Figura 2.6 Potenciómetro Jenco Electronics, LTD, Mod. 6071

Procedimiento:

Uno de los parámetros cuantitativos seleccionados para el establecimiento del tiempo de cocción es el pH. Sin embargo este trabajo solamente contempla la determinación de pH para Harinas. El potenciómetro se calibró a temperatura ambiente con tres soluciones amortiguadoras de referencia (J.T. Baker buffer standard pH 4, pH 7, pH 10) en donde se colocó 10 g de muestra en vasos de vidrio, adicionando 100 mL de agua tridestilada se colocaron dos agitadores magnéticos y se selló herméticamente. Posteriormente el frasco se colocó en un vibrador, se agitó durante 3 horas; se dejó reposar durante 6 h. y finalmente se registró la lectura del pH en el sobrenadante con un potenciómetro (JENCO Electronics LTD, mod. 6071).

2.3 Actividades para el objetivo 2

Obtener la distribución de tamaño de la producción de harinas de maíz nixtamalizado producidas en una planta procesadora a partir del análisis granulométrico para determinar el rendimiento harinero y establecer si existe control durante las moliendas.

2.3.1 Determinación de Análisis Granulométrico:

La granulometría de agregados o conglomerados se define como el método para determinar la distribución del tamaño de partículas. Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra y conocer la homogeneidad del material o si es polidispersa. A partir del análisis granulométrico se obtiene su clasificación de tamaños mediante el procedimiento del tamizado, el cual es un método físico para separar mezclas con partículas de diferente tamaño por una serie de tamices, haciendo que las partículas atraviesen por los orificios de la malla y las de mayor tamaño quedan retenidas. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados. La apertura de la malla está indicada en una placa metálica soldada al tamiz.

Materiales y Métodos

- Harina de maíz nixtamalizado (muestras 3)
- Harina de tres turnos

Equipo

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1mg (Modelo AS200, Marca OHAUS).
- Ro-Tap (Marca U, S. estándar, Modelo KH59986-60).
- Serie de tamices USA, rigurosa con número de malla : 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70,80, 100 y charola

Procedimiento:

El procedimiento realizado fue de acuerdo a ASAE Standards (1995). Se seleccionó la serie de tamices USA rigurosa de acuerdo a la Norma NMX-046-S-1980 que menciona que al menos 75% del material debe pasar por un tamiz de abertura de 0.250 mm que corresponde a 1 tamiz 60 USA. Para el tamizado se utilizaron los tamices: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 100 y charola. La distribución de la muestra debe ser tal que el primer tamiz no tenga muestra o un mínimo de tres gramos. A cada uno de los tamices se le registró su peso, incluyendo la charola. Los tamices se acomodan en pila en orden descendente del número, luego se pesaron 100 g de muestra (Fig. 2.7 a) y se colocaron en la parte superior del primer tamiz. Posteriormente, se colocó la tapa, se acomodó en el Ro-Tap (Ver Fig. 2.7 b). Se programaron 12 minutos para agitación de las muestras horizontal y vertical en el equipo (Ver Fig. 2.7 c)

Al término del evento las fracciones retenidas en cada tamiz y en el plato fueron pesadas (Ver Fig. 2.7 d) y registradas como se muestra en el Cuadro 2.1.

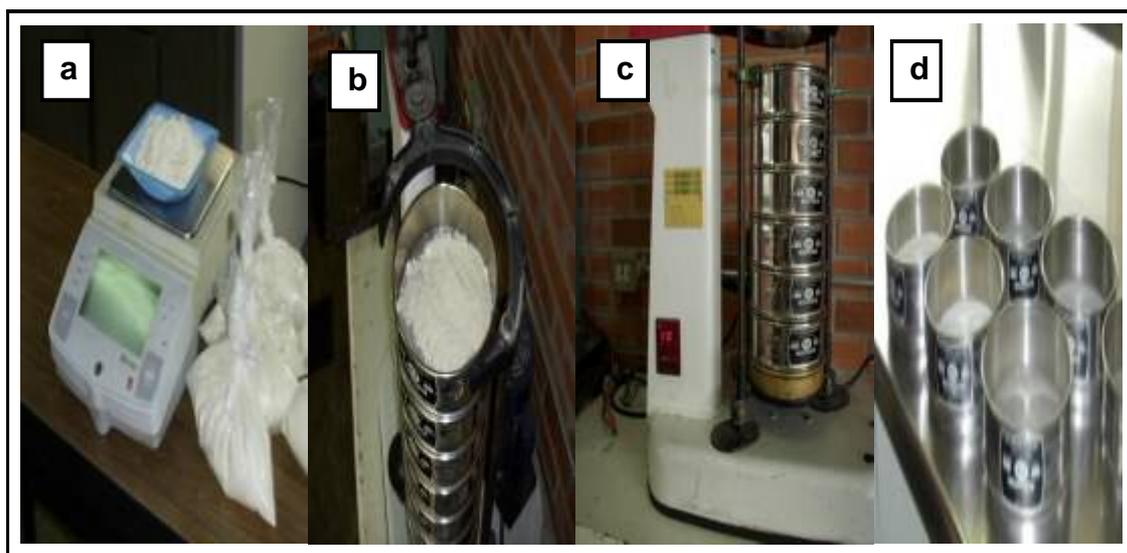


Figura 2.7 a) Pesado de harinas; b) Pila de tamices; c) Tamices en Ro-Tap; d) Tamices con harinas retenidas después de la vibración.

En el Cuadro 2.1 es un ejemplo donde se deben llenar los datos obtenidos del análisis granulométrico

Cuadro 2.1. Representación tabular del análisis granulométrico

No. de malla	Masa Retenida (g)	X_i	Abertura de malla que pasa (in)	Abertura de la malla que retiene (in)	Dpi (in)	FTR	FTP
20/25							
25/30							
30/35							
35/40							
40/45							
45/50							
50/60							
60/70							
70/80							
80/100							
100/ch							

Masa total 100 g

La representación tabular del análisis granulométrico se realizó con una serie de cálculos:

- 1) En la columna 1 del cuadro se coloca el número de mallas que se emplean.
- 2) En la columna dos la masa retenida después del vibrado en el Ro-Tap, una vez pesadas las fracciones (en gramos).
- 3) En la columna 3 se registra X_i .

En donde:

X_i es la fracción masa la cual es la función diferencial de distribución para un módulo de tamices dado esto quiere decir los materiales que quedan retenidos en el tamiz sobre una masa total empleada, calculándolo con la ecuación 1.

$$X_i = \frac{\text{masa retenida}}{\text{masa total}}$$

ec. (1)

- 4) En la columna 4 se registra la abertura de la malla que pasa la harina en pulgadas (*in*). Este valor se obtiene de la placa de cada tamiz.
- 5) En la columna 5 se registra la abertura de la malla que retiene la harina en pulgadas (*in*). Este valor se obtiene de la placa de cada tamiz.
- 6) En la columna 6 se registra el *Dpi*. El cuál es el diámetro promedio entre los dos tamices que proporcionan dicha fracción el que pesa y el que retiene, se obtiene de la ecuación 2.

$$D_{pi} = \frac{\text{Abertura Malla pasa} + \text{Abertura Malla retiene}}{2}$$

ec. (2)

Para visualizar la distribución de tamaños de la muestra original, los valores obtenidos se grafican en algún tipo de representación, como son los diagramas diferenciales, acumulativos o en los histogramas. En la Figura 2.8 se presenta un ejemplo de la gráfica diferencial de distribución de tamaño de las harinas de maíz nixtamalizado, donde se graficó: *Xi vs Dpi*.

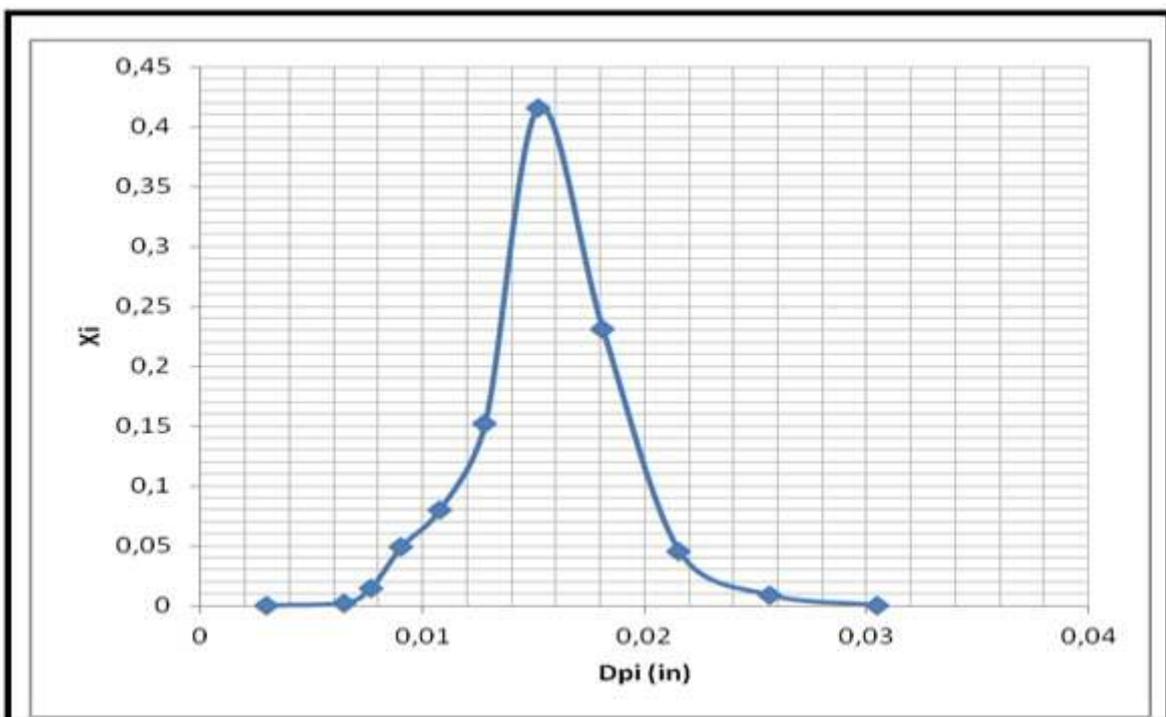


Figura 2.8 Ejemplo de gráfica diferencial de distribución de harina

Como se muestra en la Figura 2.8 en los diagramas diferenciales se indican fracciones del total retenidas por cada uno de los tamices en función de las aberturas medias en estos. Los diagramas diferenciales son específicos de cada serie de tamices, ya que la gráfica obtenida es diferente si se modifican la relación entre las aberturas de tamices consecutivos. La información que nos da es la homogeneidad de la muestra y la media poblacional (Aguado, 2003).

- 7) En la columna 7 se registra la fracción masa retenida acumulada (FTR), obteniendo el cálculo con la ecuación 3.

$$FTR = (X_{i-1} + X_i) \quad \text{ec. (3)}$$

X_{i-1} : Porcentaje de peso anterior

X_i : Porcentaje de peso inicial

- 8) En la columna 8 se registra FTP : Fracción masa retenida acumulada pasada obteniendo el cálculo con la ecuación 4.

$$FTR = (1 - FTP) \quad \text{ec. (4)}$$

Con los datos de las dos últimas columnas de la tabla (FTR) y (FTP), se obtiene una gráfica acumulativa para obtener la fracción pasada y retenida como se muestra en la Figura 2.9.

Las representaciones de tipo acumulativo, son independientes del juego de tamices utilizados, es decir no depende de la serie de tamices, es útil para determinar un porcentaje a un cierto diámetro o tamiz o también asigna un diámetro a cierto porcentaje del producto, permite describir variaciones de una muestra en el tiempo o con la calidad de una carga.

En la industria de la harina de maíz nixtamalizado este tipo de representación se realiza para monitorear las condiciones de almacenamiento, dado que a veces las harinas se hidratan bajo las condiciones de almacenamiento en la empresa.

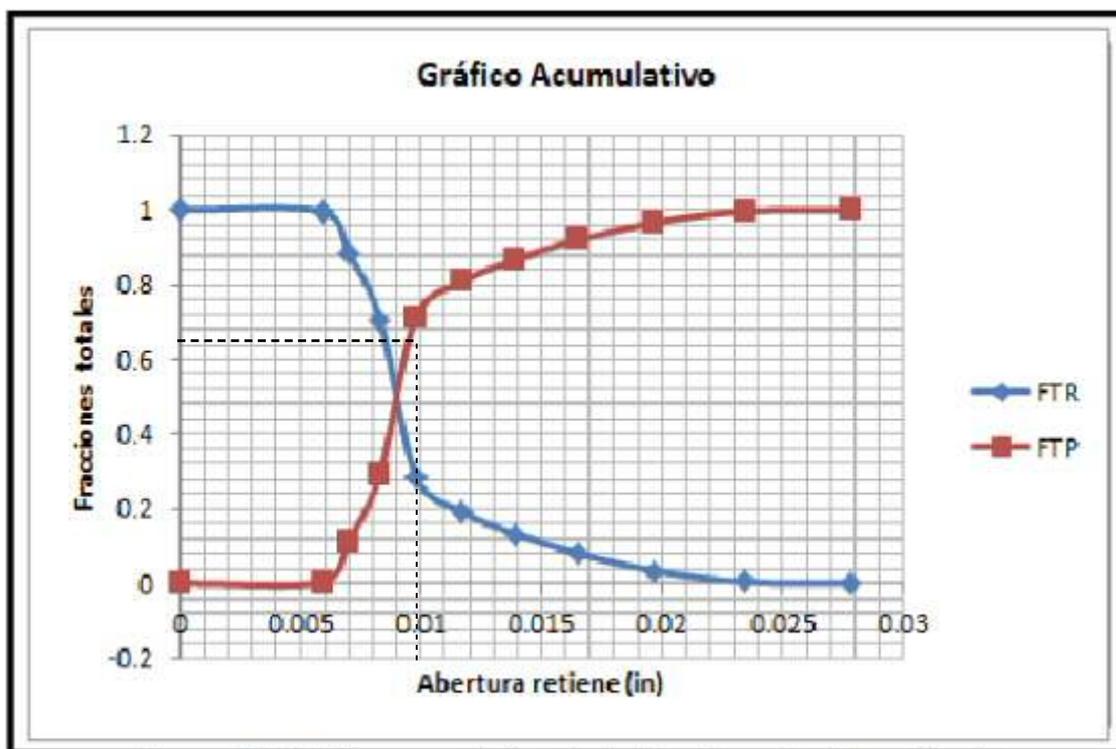


Figura 2.9 Gráfica acumulativa de harina de maíz nixtamalizado

En la Figura 2.9 permite obtener el rendimiento harinero, intersectando el punto del tamiz de 0.250 mm o 0.0098 in de la fracción masa pasada y obteniendo el valor en el eje “y” multiplicando por 100 para representar el porcentaje obtenido. Ya que la norma NMX-046-S-1980 solicita que por lo menos el 75 % pase el tamiz 60 (0.250 mm). En este ejemplo se muestra que la harina evaluada no cumplió con que el 75% pasará el tamiz 60, ya que corresponde al 62 %.

2.4 Actividades para el objetivo 3

Cuantificar la concentración de calcio en la producción de harinas de maíz nixtamalizado por espectrofotometría de absorción atómica, para conocer si existe control sobre el tratamiento térmico-alcalino y la técnica de lavado.

2.4.1 Determinación del contenido de calcio

Esta determinación es importante para conocer la concentración de calcio en la harina de maíz nixtamalizada ya que la fijación de calcio después de procesar a los granos varía en el tratamiento térmico- alcalino y en el lavado. Esta actividad se realizó por espectrofotometría de absorción atómica para muestras de grano crudo de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.* (2004).

Esta técnica espectroscópica destruye la muestra y determina cuantitativamente el elemento presente. Para determinar el analito en la muestra fue necesario proporcionarle energía a los átomos y subir el nivel a los electrones, lo que se llevó a cabo en el equipo utilizando una lámpara de cátodo hueco que debe ser del analito que se analizó, que en este caso fue calcio. En este nivel, los electrones están en un estado excitado con muy poca estabilidad, tratando de regresar a su nivel original. Los electrones en un átomo en estado basal, absorben un cuanto de energía, es decir, tienen una transición de un nivel de baja energía, a uno de alta energía; cuando el electrón regresa al estado base, hay emisión de luz. Se genera una serie de líneas a longitudes de onda bien determinadas a la cual se le conoce como espectro, que es detectado por un espectrofotómetro y que es específica para cada uno de los elementos. La absorción de energía y la concentración del analito están cuantitativamente relacionadas con la ley de Lambert-Beer (Skoog *et al.*, 1995; Amezcua, 2003).

Se tomaron 100 gramos de harina de maíz nixtamalizado, se hizo pasar por un tamiz 60, el material retenido en tamiz 70, se utilizó para la determinación de calcio. Este mismo procedimiento se utilizó para todas las harinas de todos los turnos, días y meses evaluados.

Material y equipo:

- Balanza analítica (Modelo AS200, Marca OHAUS)
- Digestor (Marca MARS5, Modelo 0269)
- Carrusel para microondas
- Estufa de vacío (Marca OAKTON, Modelo 05015-51)
- Espectrofotómetro (Marca VARIAN, Modelo AA-110)

- Estándar de calcio 1000 ppm (Modelo HIGH-PURITY STANDARS)
- Horno de microondas (Marca CEM, MMDS 81D)
- Matraces de 100 mL para aforar
- Micropipetas de 10 mL (PC Scientific, Mod.10 M)
- Vasos de precipitado
- Vasos de Teflón (Marca CEM, Modelo PFA-LV)
- Referencia de harina de maíz nixtamalizado (corn meal-solid)
- Ácido nítrico alto grado de pureza (70%)
- Ácido clorhídrico grado de pureza (66%)
- Oxido de lantano
- Agua tridestilada
- Papel filtro No. 42
- Granos de maíz nixtamalizados
- Detergente Hy clin

Procedimiento:

Se colocaron 0.25 g de muestra de harina de maíz nixtamalizado en los vasos del digestor (Marca MARS5, Modelo 0269), se agregó a cada uno de los vasos 10 mL de ácido nítrico, se tapó y se selló herméticamente. Los vasos se introdujeron en el carrusel (Ver Figura 2.10a) y luego al horno de microondas (Ver Figura 2.10b). Este se programó con tres rampas de calentamiento: la primera de temperatura ambiente hasta 130 °C en 4:30 minutos, la segunda de 130 °C, hasta 150 °C en 4 minutos y la última de 150 a 175 °C en 4 minutos, manteniendo la temperatura constante durante 15 minutos. Posteriormente, se dejaron enfriar las muestras. Después de digerir la muestra se filtró con papel N° 42 y se adicionó 1 mL de óxido de lantano y finalmente se aforó a 100 mL con agua tridestilada y por último se preparó la curva patrón a diferentes concentraciones con el estándar de calcio para calibrar el equipo.

Se colocó una lámpara de cátodo hueco para leer Ca. en el equipo. La lectura se realizó con las muestras previamente diluidas, y se colocaron en un vaso de

precipitado para introducir al nebulizador. Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama (ver Figura 2.10 c).

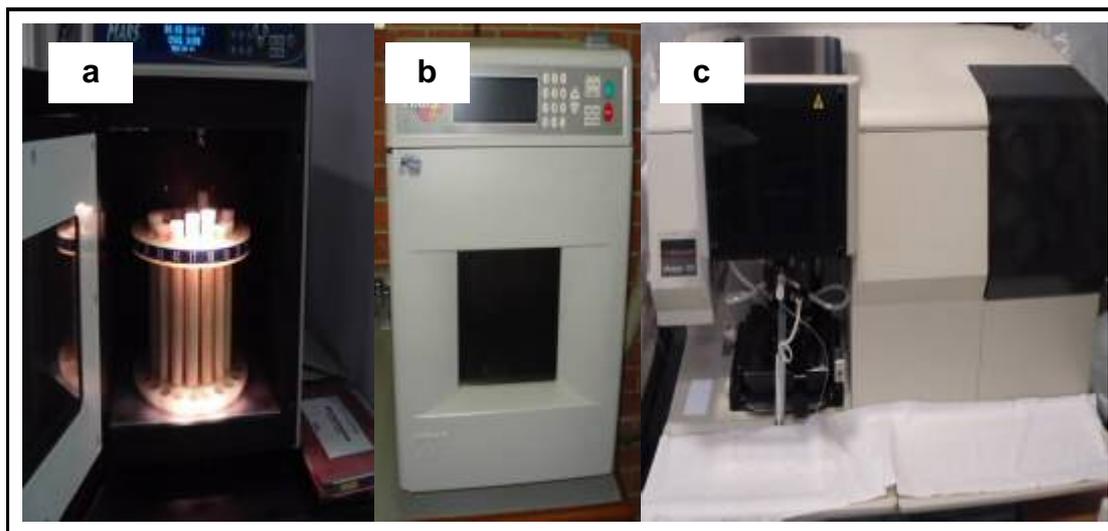


Figura 2.10 a) Carrusel con vasos, b) digestor de microondas, c) espectrofotómetro de absorción atómica

Se utilizaron como gases aire –acetileno para producir la flama. Se eligió una longitud de onda de 422.7 nm característica del calcio. El porcentaje de absorción registrado por el detector es una medida de la concentración del elemento de la muestra. Las condiciones en que se operó el equipo fueron: aire 12 psi, flama 422.7 nm, lámpara de uso corriente 10 mA y corte de ancho 0.7 nm.

Los valores de la concentración de calcio de harinas de maíz nixtamalizado se representan graficamente. Las determinaciones se realizaron por triplicado, se reportó el promedio y la desviación estándar. Los análisis se llevaron a cabo en un laboratorio certificado, para análisis de calcio en materiales. Se utilizó un microondas para digerir las muestras, un estándar de 1000 ppm de calcio para preparar la curva de calibración y una referencia certificada *corn meal-solid*, para establecer el porcentaje de recuperación en un espectrofotómetro AA-110 VARIAN.

2.5 Actividades para el objetivo 4

Determinar el perfil viscoamilográfico de harinas de maíz nixtamalizado en un viscoanalizador para conocer el desarrollo de pico máximo que presentan y correlacionarlo con la gelación, plastificación y gelatinización del almidón.

2.5.1 Determinación del perfil viscoamilográfico de harinas de maíz nixtamalizado

Es necesario conocer el desarrollo de la formación del gel en las diferentes harinas, ya que esto es indicativo de cómo se realizó el proceso, si las harinas tienen un bajo pico es que fueron preparadas a condiciones extremas de temperatura y su almidón fue gelatinizado, lo que ocasionará que la hidratación de agua sea poca y una masa con poca adhesión y carencia de fuerza mecánica, lo que se traduce en mayor cantidad de aditivo para mejorar su funcionalidad durante el amasado y troquelado de tortillas. El comportamiento del proceso de gelatinización y los perfiles de viscosidad aparente de las mezclas de harina-agua y almidón-agua comúnmente se miden mediante un analizador rápido de viscosidad (RVA), que consiste en un calentamiento y enfriamiento de la muestra en el analizador, que mide la resistencia de una muestra a los esfuerzos controlados de corte o cizalla. El RVA es considerado un simulador del procesamiento de los alimentos y se utiliza para relacionar la funcionalidad con las propiedades estructurales, un perfil típico de gelatinización de almidón RVA (Figura 2.11) muestra el aumento de viscosidad a un máximo, seguido por un descenso a un valor mínimo de ruptura de los gránulos (que se refiere a la distribución). A medida que se reduce la temperatura, la viscosidad aumenta nuevamente desde el mínimo a un valor final, lo que se conoce como el revés (Setback). El pico de viscosidad es indicativo de la capacidad de enlace del agua al almidón y la facilidad con la cual se desintegran los gránulos de almidón, considerando que los valores más altos de revés (setback) generalmente están correlacionados con el contenido de amilosa del almidón. El RVA ofrece una forma cómoda de estudiar los efectos de los aditivos en reología de sistemas de almidón (Tang y Copeland, 2007). Los parámetros RVA han sido correlacionados con la textura y calidad

de producto, pueden detectar diferencias en propiedades funcionales entre almidones y harinas de diferentes variedades.

Materiales:

- Agua destilada
- 24 muestras de 4 g de harina de maíz nixtamalizado
- Balanza analítica con una sensibilidad de 0.1mg (OHAUS, modelo AS200)
- Rapid Visco Analyser RVA, de Newport Scientific Narabee, NSW Australia
- Micropipetas de 10 mL (PC Scientific, Mod.10 M)

Procedimiento:

Se prepararon suspensiones de harina de maíz instantánea, en cada una de las muestras se utilizaron 4 g de harina con 14 % de humedad y 24 mL de agua destilada. A cada una de las suspensiones de las muestras realizadas se les determinó la viscosidad para lo cual se empleó un Rapid Visco Analyser RVA, de Newport Scientific Narabee, NSW Australia, girando a una velocidad de 160 rpm, con una tasa de calentamiento de 5.6 °C/min., manteniendo esta tasa de calentamiento previamente seleccionada durante todo el ciclo de medición de 15 minutos. En la Figura 2.11 se presenta un visco analyzer con el cilindro de aluminio y el impulsor. Los viscoamilogramas se obtuvieron con ascensos de temperatura de la suspensión de 50 °C hasta 90 °C, al alcanzar esta última temperatura la muestra fue mantenida a esta temperatura durante 5 minutos, luego se le sometió a un ciclo de descenso de temperatura con la misma velocidad utilizada para el ascenso. Cada prueba tuvo una duración de 15 minutos, con lo cual se obtuvieron viscoamilogramas completos para su caracterización.



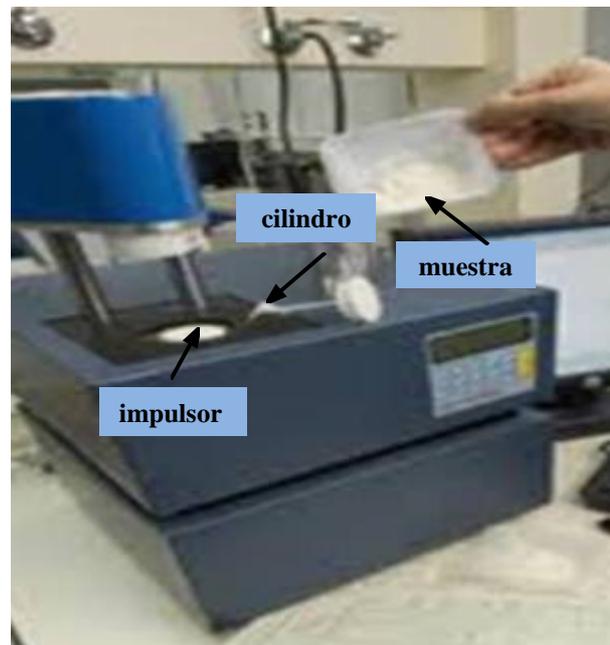
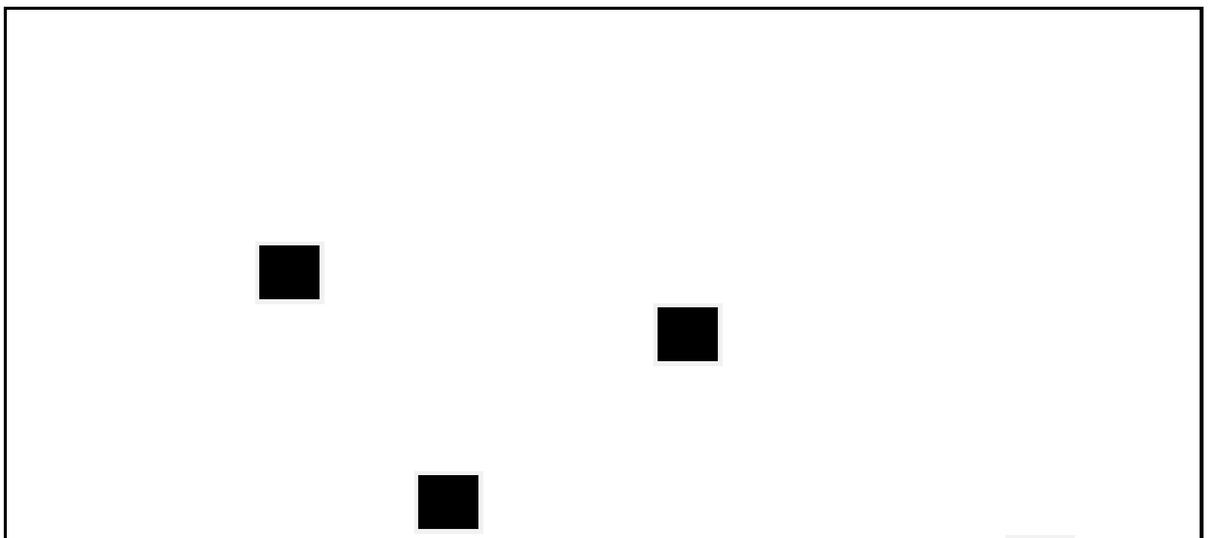
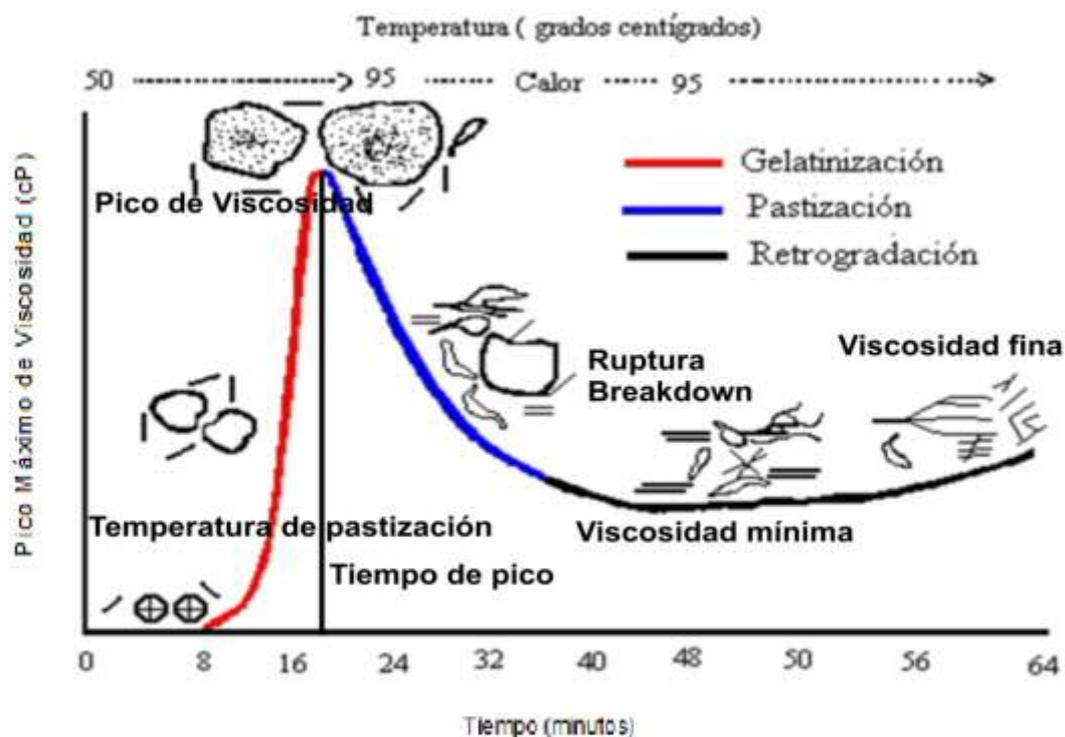


Figura 2.11 Rapid Visco Analyser RVA, de Newport Scientific

El aparato registra la viscosidad en unidades de centi-pascales en función del tiempo o bien de temperatura. Los datos más importantes de un viscoamilograma son los representados en la Figura 2.12, de acuerdo a lo reportado por D'Appolonia (1995):

- La temperatura en la cual el gel empieza a ser perceptible.
- El pico máximo alcanzado por la suspensión.
- La temperatura a la cual se presenta el pico máximo.
- La viscosidad de la muestra alcanzada después del calentamiento permanente a 90 °C.
- La viscosidad final alcanzada por la muestra cuando finaliza la medición.





Jan et, al 2013

Figura 2.12 Ejemplo de perfil viscoamilográfico de harinas

El viscoamilograma lo proporciona el equipo directamente en la pantalla de la computadora *in situ*. Al ir corriendo la muestra, se van obteniendo las diferentes partes que se encuentran en la gráfica de manera que el pico máximo de viscosidad es lo más importante.

El punto **a** (temperatura de pastización) representa el tiempo en el que la muestra inicia a desarrollar viscosidad y a una temperatura de 32- 55 °C y un tiempo de 170 segundos. El punto **b** (pico de viscosidad) es el grado máximo de viscosidad aparente que desarrolla la muestra, con una temperatura de 98 °C. El punto **c** (breakdown) muestra la desvalorización de la viscosidad en la muestra debido a la pastización, después de que experimenta un calentamiento permanente de 90 °C, y por último el punto **d** (parte de retrogradación) representa la viscosidad aparente final de la muestra. El trayecto efectuado desde el punto **a** al punto **b** representa el intervalo de temperatura de gelatinización

El pico máximo es seguido por una disminución en la viscosidad de la pasta, como la ruptura de las moléculas y los gránulos de almidón están dispersos en la fase acuosa. La velocidad y la magnitud del hinchamiento y desglose dependen del tipo y la cantidad de fécula, el gradiente de temperatura, la fuerza de cizalladura y la composición de la mezcla, por ejemplo, la presencia de los lípidos y proteínas. La temperatura de gelatinización de la mayoría de los almidones está entre 60 y 80 °C. En general, hay una relación negativa entre el contenido de amilosa del almidón y la viscosidad de la temperatura y el pico de gelatinización.

Como la pasta viscosa se enfría, la viscosidad aumenta debido a la formación de un gel que se mantiene unido por las interacciones intermoleculares que afectan a las moléculas de amilosa y amilopectina. En geles que contienen aproximadamente el 25% de amilosa, las moléculas de almidón forman una red resultante en un gel firme, en contraste a los geles de almidón ceroso, que son suaves y contienen agregados pero ninguna red. La retrogradación del almidón ha sido definida como el proceso que ocurre cuando las cadenas moleculares en los almidones gelatinizados comienzan a re-asociarse en una estructura ordenada, durante la retrogradación, la amilosa forma asociaciones de doble hélice de 40 a 70 unidades de glucosa, mientras que la cristalización de la amilopectina ocurre por una re-asociación de las pequeñas ramificaciones más externas. Aunque ambas, la amilosa y la amilopectina son capaces de retrogradar, el componente de la amilopectina, aparentemente puede ser el mayor responsable (Jan *et al.*, 2013).

Un perfil viscoamilográfico para harina de maíz nixtamalizada que reporta un pico máximo de 1700 cP, es un buen valor para salir al mercado como harina comercial y es un indicativo de que las etapas del proceso como: cocción de granos de maíz, molienda húmeda y molienda seca fueron bien cuidadas en el aspecto de la gelatinización del almidón.

2.6 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Todas las mediciones se hicieron por triplicado y se obtuvo el promedio de cada una de ellas.

Con la finalidad de evaluar la diferencia existente entre los diferentes tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con una $P \leq 0.05$ y se realizó una prueba de Tukey, que se basa en el cálculo de las diferencias entre las medias (Montgomery, 2004), mediante el Software Minitab® 16.

Capítulo 3

Resultados

3.1 Actividades preliminares

Paquetes de un kilogramo de harina en los tres turnos fueron seleccionados aleatoriamente del almacén para realizar los análisis. Los turnos de sábado y domingo no fueron contemplados debido a que algunas veces no se trabaja en la planta en los tres turnos.

Resultados del Análisis Químico Proximal de harinas

3.1.1 Resultados de humedad de harinas de maíz nixtamalizado

Los resultados del % de humedad de las harinas se reportan en el Cuadro 3.1

Cuadro 3.1 Humedad de harinas en los seis meses

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Promedio de los tres turnos						
1	10.12	10.16	10.18	10.84	10.87	10.96
2	10.12	10.15	10.17	10.86	10.90	10.95
3	10.13	10.17	10.17	10.97	10.87	10.96
4	10.11	10.15	10.16	10.96	10.88	10.95
5	10.12	10.16	10.17	10.90	10.88	10.93
6	10.14	10.16	10.17	10.96	10.87	10.94
7	10.15	10.16	10.17	10.95	10.86	10.91
8	10.12	10.16	10.17	10.95	9.78	10.94
9	10.13	10.16	10.18	10.90	10.84	10.93
10	10.13	10.16	10.16	10.94	10.85	10.94
11	10.13	10.16	10.17	10.91	10.85	10.95
12	10.12	10.15	10.17	10.95	10.80	10.94
13	10.13	10.15	10.18	10.91	10.87	10.93
14	10.13	10.15	10.18	10.94	10.99	10.91
15	10.14	10.16	10.18	10.92	10.90	10.92
16	10.14	10.15	10.18	10.94	10.90	10.93
17	10.13	10.17	10.16	10.98	10.89	10.93
18	10.12	10.17	10.18	10.95	10.87	10.93
19	10.14	10.16	10.18	10.95	10.87	10.90
20	10.13	10.17	10.17	11.01	10.89	10.93
Promedio mensual	10.13	10.16	10.17	10.93	10.82	10.93
Desviación estándar	±0.01	±0.01	±0.01	±0.04	±0.24	±0.02

En el Cuadro 3.1 se presentan los 20 días que se evaluaron las harinas por mes,

en los tres turnos . La humedad de las harinas de los tres turnos van de 10.13 % hasta 10.93 % en los meses evaluados. Así mismo, el cuadro presenta el promedio y la desviación estándar de las determinaciones de humedad.

En la Figura 3.1, se presentan los resultados de los efectos principales para la humedad en todo el semestre.

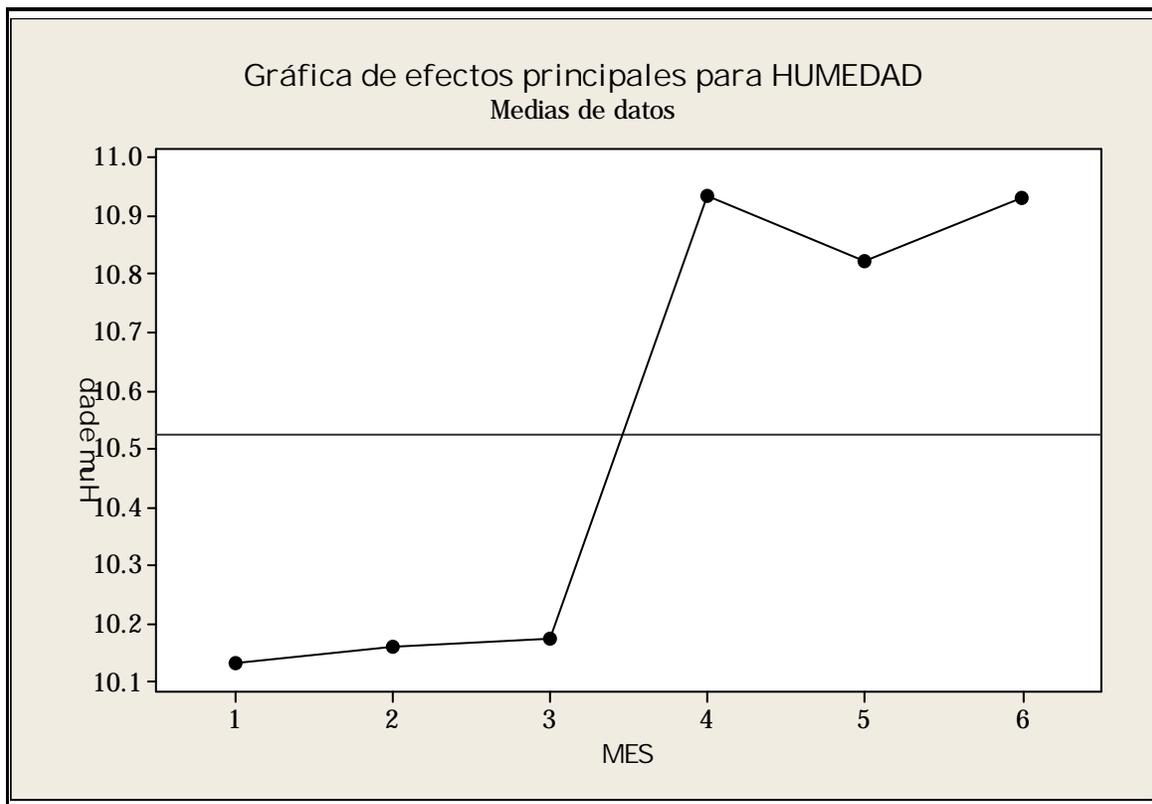


Figura 3.1 Gráfica de los efectos principales para humedad en harinas evaluadas (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

La gráfica muestra que en los meses de enero, febrero y marzo las humedades de las harinas estuvieron en un intervalo pequeño y no hay una diferencia significativa entre ellas, ya que su desviación estándar presenta el mismo porcentaje de ± 0.01 , arrojando el mismo resultado al realizar la prueba de Tukey (ver anexo 1) en donde nos establece la comparación de las medias casi iguales mostradas en dicha prueba. En los meses de abril y junio presentaron mayor desviación ± 0.02 a \pm

0.04 y el mes de mayo fue el más alto con ± 0.24 , que de acuerdo a la prueba de Tukey, mayo es el que presentó mayor diferencia significativa entre medias y una mayor desviación estándar en comparación a los demás meses. A pesar de eso, estas humedades no fueron mayores de los límites permitidos por la norma que es del 15 % (NOM- 187-SSA/SCFI- 2002). Esto es debido a que en este mes el higrómetro de la planta registraba la mayor humedad relativa de todo el semestre estudiado. Los meses de abril y mayo son los que presentaron mayor variabilidad entre los días evaluados debido a que son meses donde inicia la lluvia y esto provoca cambios de humedad relativa en el medio ambiente del espacio semiabierto donde se tienen almacenados temporalmente los paquetes de harina. Este almacenamiento se lleva a cabo en un área de la planta que esta junto al área de proceso. Sin embargo, las tarimas se dejan bastante tiempo en un espacio con demasiada ventilación antes de colocarse en el almacén.

La humedad relativa afecta a los paquetes de harina debido a que durante el almacenamiento el envase es en papel, que fácilmente se humedece. Esto trae como consecuencia que la harina cambie su calidad, es decir forme grumos en su paquete y modifique su granulometría y su vida útil. Así mismo, se forman paquetes de 50 kilos de harina y si el envase está húmedo, empieza humedecer a los que están continuos a él, provocando que pueda iniciar la proliferación de microorganismos.

La humedad es un factor determinante en los cambios que ocurren en las harinas, un pequeño aumento en este parámetro afecta el estado de las harinas.

3.1.2 Resultados del porcentaje de grasa de harinas de maíz nixtamalizado

En el Cuadro 3.2 se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de grasa que presentaron las harinas procesadas en el semestre.

Cuadro 3.2 Promedio de grasa en harinas de maíz en los seis meses

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Promedio de los tres turnos						
1	4.81	4.69	4.69	4.69	4.69	4.69
2	4.73	4.67	4.68	4.68	4.68	4.68
3	4.66	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71
4	4.63	4.67	4.63	4.67	4.63	4.63
5	4.69	4.67	4.66	4.66	4.66	4.66
6	4.68	4.53	4.61	4.57	4.61	4.61
7	4.76	4.63	4.68	4.69	4.68	4.68
8	4.64	4.64	4.63	4.63	4.63	4.63
9	4.68	4.70	4.69	4.70	4.69	4.69
10	4.67	4.70	4.68	4.67	4.69	4.69
11	4.77	4.66	4.66	4.68	4.66	4.66
12	4.63	4.67	4.62	4.61	4.62	4.62
13	4.69	4.67	4.69	4.70	4.69	4.69
14	4.64	4.61	4.66	4.66	4.67	4.67
15	4.70	4.60	4.59	4.56	4.57	4.57
16	4.64	4.64	4.67	4.63	4.64	4.64
17	4.64	4.63	4.61	4.59	4.61	4.61
18	4.68	4.72	4.66	4.71	4.68	4.68
19	4.66	4.72	4.68	4.67	4.67	4.67
20	4.70	4.73	4.77	4.78	4.77	4.77
Promedio mensual	4.69	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66
Desviación estándar	±0.05	±0.05	±0.04	±0.05	±0.04	±0.04

En el Cuadro 3.2 se presenta los datos obtenidos de la cantidad de grasa en harinas evaluadas en los veinte días. Como se puede ver en el cuadro en los diferentes meses que se realizaron las pruebas, no hay una diferencia significativa entre ellas, concordando con la prueba de Tukey (ver anexo 2) ya que todas sus medias están dentro del mismo rango, ya que sus valores estuvieron entre 4.61-4.78 y su desviación estándar fue de ±0.04 a ±0.05 (ver anexo 2 grafica de cajas). La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2003 expresa el intervalo de grasa que deben contener los granos de maíz con destino a producción de harinas es de 3.5-4.7 % para evitar problemas de rancidez durante el almacenamiento. La

determinación muestra que las harinas de maíz nixtamalizado procesadas se encontraron dentro del intervalo solicitado por la norma. En la Figura 3.2 se presentan los efectos principales de la determinación de grasa en harinas procesadas.

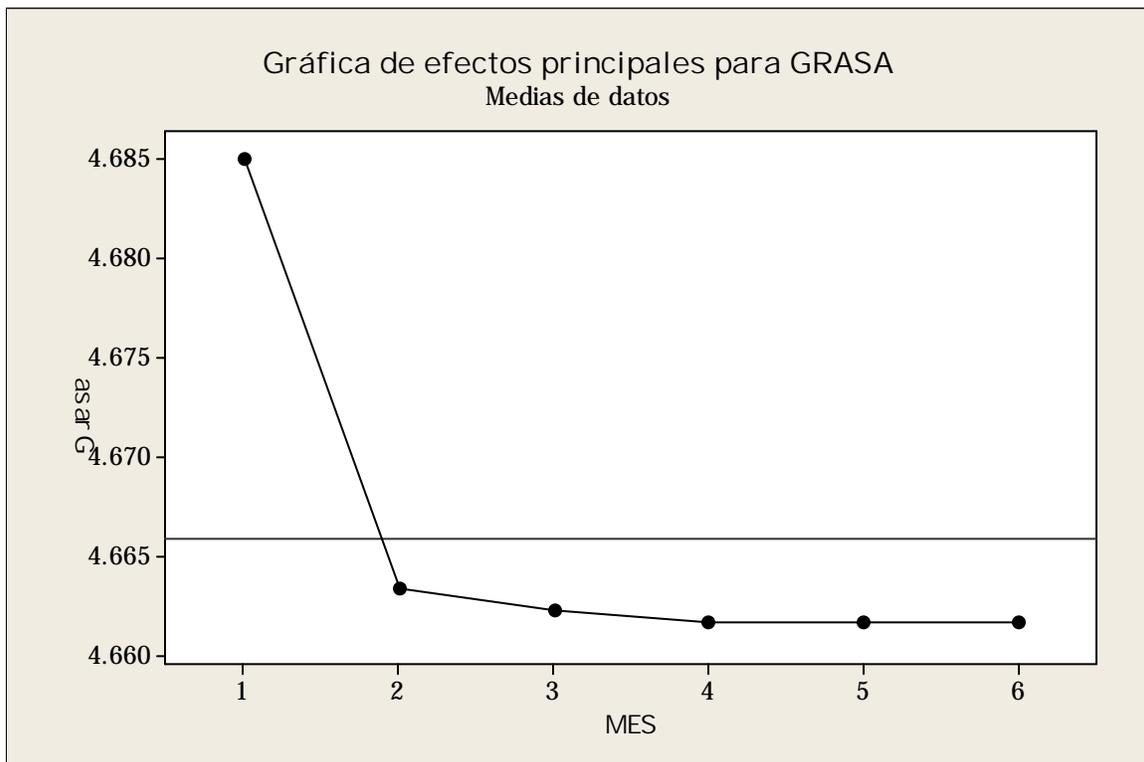


Figura 3.2 Gráfica de los efectos principales para determinación de grasa en harinas Evaluadas (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

El valor de porcentaje de grasa para el mes de enero fue el más alto, pero ligeramente, esto debido a que los primeros días de enero se reportaron el porcentaje de grasa más altos. Esto puede ser debido a que los primeros días del año pudo haber otro tipo de materia prima que se trabajó en la primera semana del año o fallas experimentales. Todos los demás meses; febrero, marzo, abril mayo y junio presentaron valores similares.

3.1.3 Resultados del porcentaje de cenizas en harinas de maíz nixtamalizado

Los resultados de ceniza de las harinas analizadas en los seis meses se presentan en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Promedio de ceniza en harinas de maíz nixtamalizado en los seis meses

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Promedio de los tres turnos						
1	2.14	2.14	1.25	3.13	3.15	2.15
2	2.14	2.14	1.22	3.13	3.13	2.14
3	2.15	2.15	1.20	3.12	3.12	2.15
4	2.17	2.17	1.20	3.12	3.12	2.14
5	2.15	2.15	1.19	3.14	3.13	2.15
6	2.13	2.13	1.22	3.13	3.14	2.14
7	2.17	2.18	1.21	3.12	3.13	2.16
8	2.17	2.17	1.20	3.12	3.12	2.15
9	2.16	2.16	1.22	3.13	3.13	2.15
10	2.16	2.18	1.28	3.13	3.14	2.17
11	2.16	2.18	1.24	3.12	3.13	2.15
12	2.16	2.16	1.21	3.13	3.13	2.17
13	2.15	2.15	1.22	3.12	3.13	2.17
14	2.17	2.18	1.22	3.13	3.13	2.17
15	2.16	2.16	1.20	3.13	3.14	2.16
16	2.17	2.16	1.21	3.13	3.13	2.17
17	2.16	2.17	1.21	3.13	3.13	2.15
18	2.15	2.16	1.18	3.13	3.13	2.16
19	2.15	2.16	1.27	3.13	3.14	2.17
20	2.16	2.16	1.22	3.13	3.14	2.16
Promedio mensual	2.16	2.16	1.22	3.13	3.13	2.16
Desviación estándar	±0.01	±0.01	±0.02	±0.01	±0.01	±0.01

En el Cuadro 3.3 se muestran los 20 días que se trabajaron por mes y en los tres turnos. Así mismo en la tabla se presenta el promedio y la desviación estándar de la determinación de cenizas en las harinas de maíz nixtamalizado. En la tabla es posible apreciar dichas corridas respecto a la ceniza, su porcentaje va de 1.22% hasta 3.13%. Su desviación fue de ± 0.01 en los seis meses. El valor solicitado por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2003 es 1.5% de cenizas.

En los seis meses se puede apreciar que los valores de cenizas fueron más altos que los de la norma. Esto indica un maíz con un alto porcentaje de minerales. En la Figura 3.3 se presenta la gráfica de los efectos principales de cenizas en las harinas obtenidas en los seis meses.

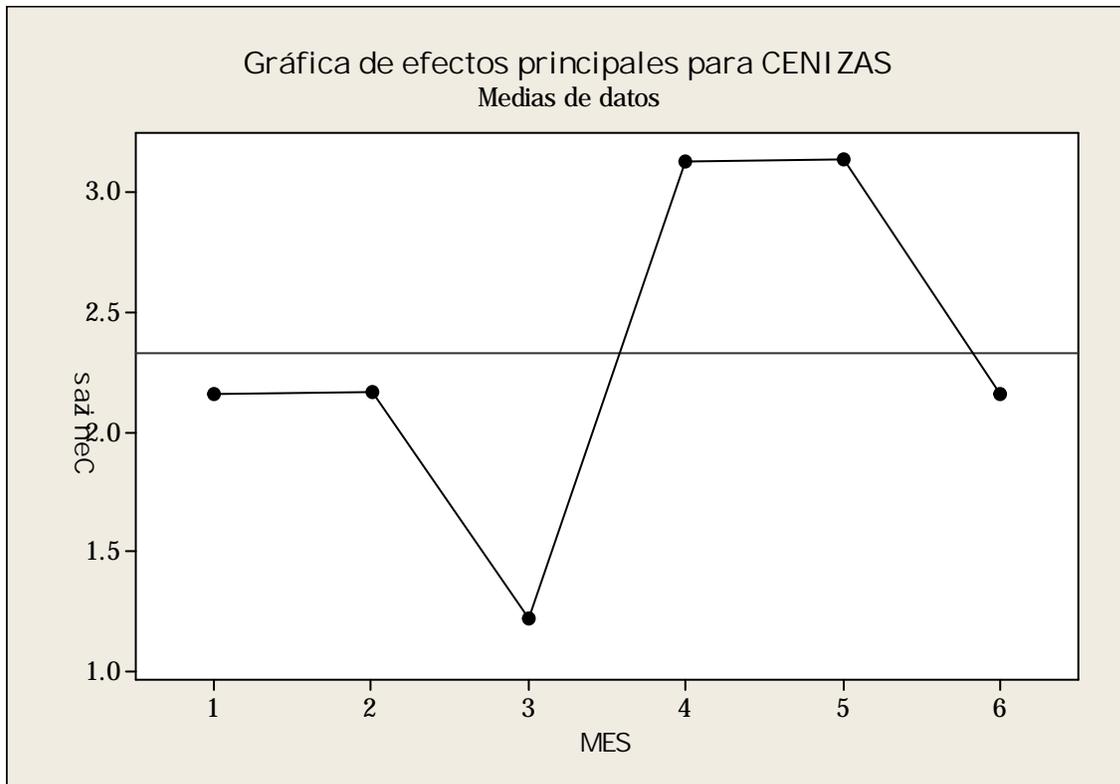


Figura 3.3 Gráfica de los efectos principales de la determinación de ceniza en harinas evaluadas (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

De acuerdo a la prueba de Tukey (ver anexo 3), marzo es la que presenta el valor más bajo, siendo la media de 1.21 y no cumplió con lo establecido por la norma (como se puede observar en el anexo 3), mientras que los valores más altos, son los meses de abril y mayo (presentando medias de 3.12 y 3.13 respectivamente) habiendo diferencia significativa con el mes de enero, febrero y junio. Con respecto a los meses de enero, febrero y junio, no existe diferencia significativa entre ellos, pero a pesar de eso, presentan valores altos con respecto a la norma. Estos

cambios se atribuyen al tipo de materia prima que se está trabajando y en algunas ocasiones se manejan mezclas de maíces, lo que dan como resultado diferentes características de las harinas de maíz nixtamalizado, sobre todo a lo que tiene que ver con el análisis químico proximal.

3.1.4 Resultados de la determinación del porcentaje de nitrógeno

En el cuadro 3.4 se reportan los resultados del porcentaje de nitrógeno.

Cuadro 3.4 Resultados promedio de nitrógeno proteico en harinas maíz nixtamalizado

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Promedio de los tres turnos						
1	8.63	8.63	8.62	8.64	8.62	8.62
2	8.63	8.60	8.63	8.63	8.64	8.63
3	8.62	8.63	8.63	8.63	8.65	8.64
4	8.62	8.63	8.63	8.62	8.64	8.63
5	8.64	8.63	8.64	8.64	8.62	8.63
6	8.62	8.64	8.62	8.62	8.61	8.62
7	8.63	8.65	8.65	8.65	8.65	8.65
8	8.63	8.65	8.64	8.64	8.64	8.64
9	8.64	8.64	8.65	8.64	8.65	8.65
10	8.64	8.63	8.63	8.64	8.64	8.63
11	8.64	8.62	8.61	8.61	8.61	8.61
12	8.63	8.62	8.60	8.60	8.60	8.60
13	8.64	8.63	8.61	8.62	8.62	8.63
14	8.64	8.64	8.65	8.65	8.65	8.63
15	8.63	8.64	8.64	8.64	8.64	8.63
16	8.63	8.64	8.64	8.63	8.63	8.63
17	8.64	8.64	8.63	8.63	8.62	8.62
18	8.62	8.64	8.63	8.63	8.63	8.62
19	8.62	8.63	8.63	8.63	8.63	8.63
20	8.62	8.63	8.63	8.62	8.63	8.63
Promedio Mensual	8.63	8.63	8.63	8.63	8.63	8.63
Desviación Estándar	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01

En el cuadro 3.4 se presentan los valores promedio obtenidos de nitrógeno proteico de las harinas de maíz nixtamalizados en los seis meses por los tres turnos. Como se puede apreciar no hay una notoria diferencia ya que su desviación fue de ± 0.01 en los seis meses, su porcentaje es de 8.62- 8.65 % de nitrógeno proteico.

En la Figura 3.4 se presenta la gráfica de los efectos principales para el porcentaje de nitrógeno proteico en todos los meses estudiados.

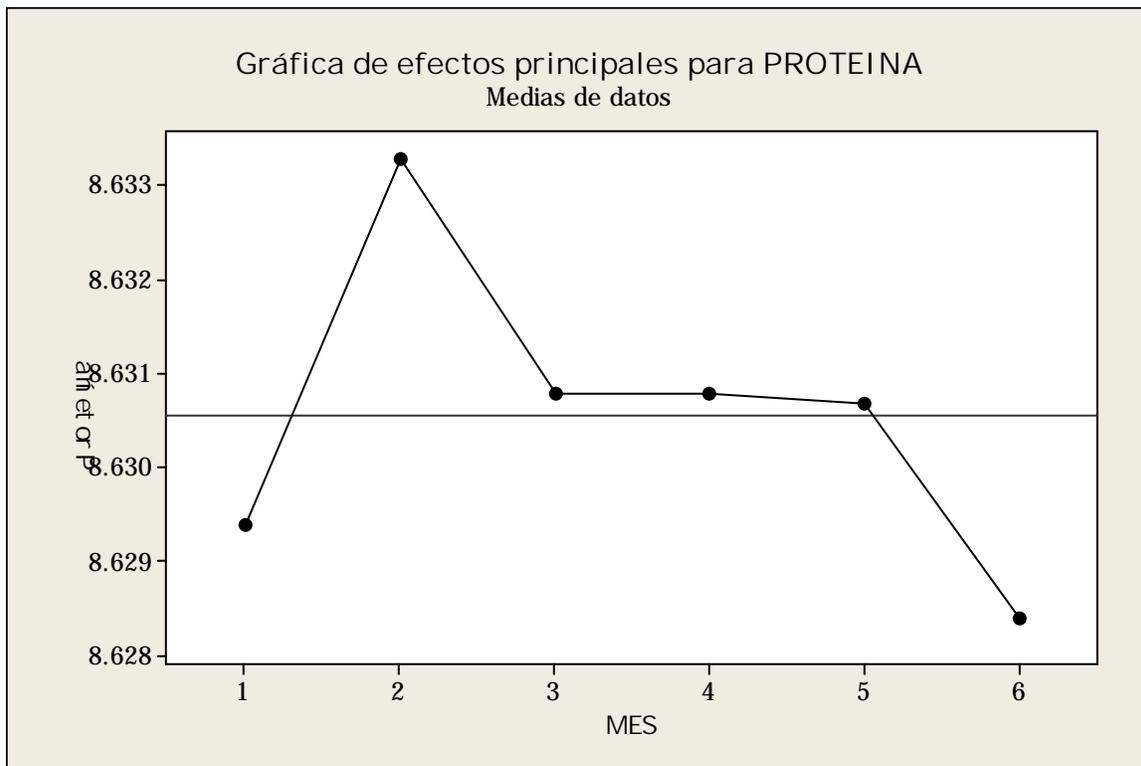


Figura 3.4 Gráfica de efectos principales de % nitrógeno proteico en harinas evaluadas (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

La gráfica evidencia que los valores del nitrógeno proteico son muy similares durante todos los meses que se produjo harina, lo cual es lo mismo que se presenta en la prueba de Tukey (ver anexo 4) en donde no hay diferencia significativa ni en sus medias, ni en sus desviaciones estándares tal y como se puede observar en el gráfico de caja (Ver anexo 4). Este parámetro cumple con la NMX-046-S-1980 ya que esta norma reporta un valor de 8 y nuestros valores están dentro de lo permitido.

3.1.5 Resultados del pH en harinas de maíz nixtamalizado

En el Cuadro 3.5 se presentan los resultados de pH de las harinas procesadas durante un período de seis meses en los tres turnos

Cuadro 3.5 Resultados de pH en harinas de maíz nixtamalizado

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Promedio de los tres turnos						
1	7.11	7.16	7.08	7.09	7.03	6.86
2	7.12	7.12	7.10	7.09	7.03	6.82
3	7.07	7.19	7.08	7.11	7.00	6.88
4	7.10	7.08	7.10	7.08	6.78	6.86
5	7.11	7.17	7.12	7.12	6.84	6.82
6	7.18	7.17	7.11	7.14	6.86	6.84
7	7.16	7.13	7.11	7.09	6.78	6.82
8	7.10	7.13	7.10	7.08	6.83	6.80
9	7.10	7.12	7.11	7.06	6.88	6.82
10	7.10	7.11	7.08	7.06	6.84	6.83
11	7.11	7.13	7.09	7.07	6.82	6.83
12	7.11	7.10	7.09	7.07	6.84	6.87
13	7.12	7.12	7.10	7.12	6.84	6.89
14	7.10	7.16	7.11	7.11	6.86	6.80
15	7.10	7.08	7.06	7.08	6.87	6.86
16	7.10	7.13	7.10	7.10	6.89	6.84
17	7.10	7.11	7.10	7.07	6.88	6.84
18	7.08	7.14	7.12	7.06	6.88	6.89
19	7.13	7.12	7.13	7.11	6.83	6.88
20	7.13	7.14	7.14	7.13	6.73	6.87
Promedio mensual	7.11	7.13	7.10	7.09	6.84	6.85
Desviación estándar	±0.02	±0.03	±0.02	±0.03	±0.04	±0.03

tabla estuvieron en un intervalo de 6.84 hasta 7.13. Esto tiene que ver con la concentración de calcio adicionada al proceso de nixtamalización y la absorción de calcio en el grano, así como la técnica de lavado. Con esto se puede apreciar que hay un control en el proceso en esta etapa.

En la Figura 3.5 se presenta la gráfica de efectos principales del pH en todo el semestre evaluado.

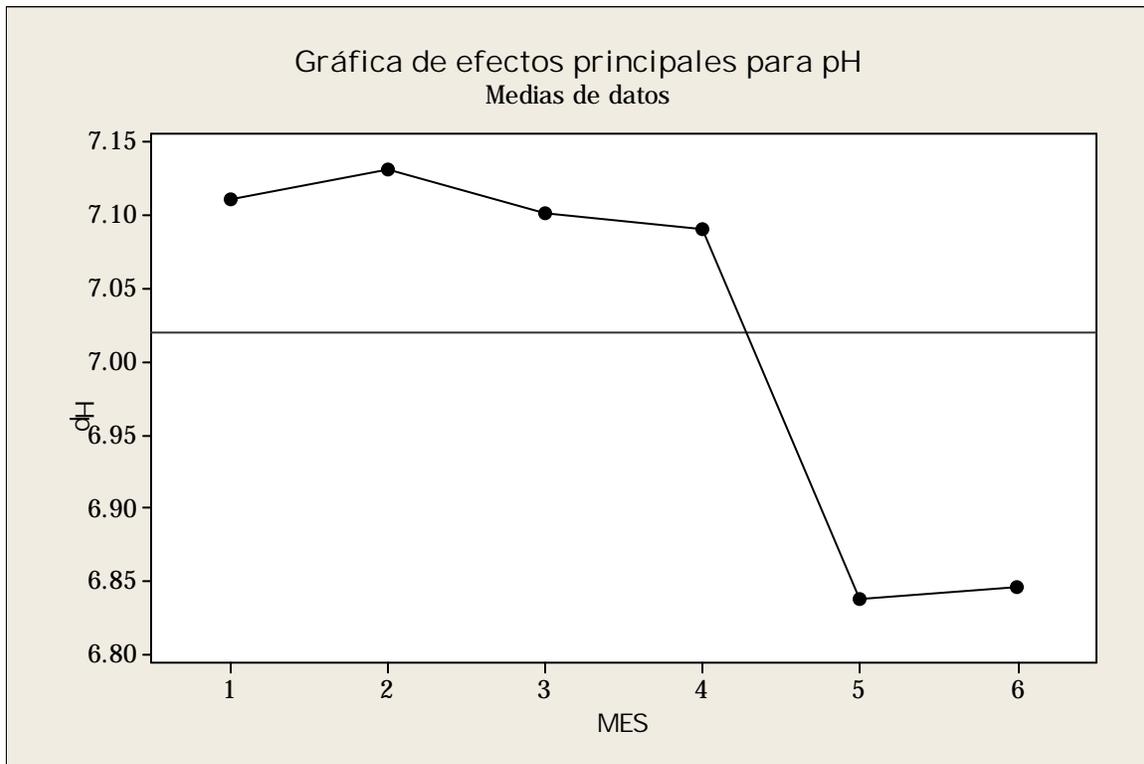


Figura 3.5 Gráfica de los efectos principales de la determinación de pH en harinas evaluadas (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

El pH es un indicativo de la alcalinidad de la harina de maíz nixtamalizado. Estos valores durante los meses de enero, febrero, marzo, abril estuvieron por arriba de 7, y a pesar de que entre estos meses no hay una gran diferencia en los valores de pH (como se observa en la gráfica de caja en anexo 5), en la prueba de Tukey (ver anexo 5), se obtiene que en Febrero presenta diferencia significativa entre medias, teniendo el valor más alto de 7.13. Sin embargo en los meses de mayo y junio el pH disminuyó por debajo de 7, presentando diferencia significativa, de acuerdo a la prueba de Tukey, este efecto podría tener cierta influencia la humedad relativa presentada en estos meses, lo que hace que se humedezcan los paquetes de papel. Las harinas por lo general tienen un pH neutro de acuerdo con los autores de Análisis Químico de Pearson de los alimentos. Aunque muchas harinas se mantienen frescas durante un largo período, con el tiempo se vuelve más ácida

por tal motivo los meses de mayo y junio pudo haber bajado su pH por un largo tiempo de almacenamiento.

3.2 Resultados del objetivo 2 para rendimiento

La distribución de tamaño en la harina de maíz nixtamalizado es un parámetro importante a evaluar de acuerdo a lo mencionado por Almeida - Domínguez *et al.* (1996) ya que las propiedades intrínsecas de las harinas instantáneas de maíz están determinadas por su distribución de tamaño de partículas (Flores-Farias *et al.*, 2001; Sahai *et al.*, 2002). La NMX-046-S-1980 especifica que el 75% debe pasar el tamiz 60 USA. Las tortillas requieren de una distribución de tamaño de harina para un buen desarrollo de flexibilidad, cohesión y rolabilidad.

En la Figura 3.6 se presentan los resultados del rendimiento obtenido por la gráfica acumulativa en función de lo solicitado por la norma.



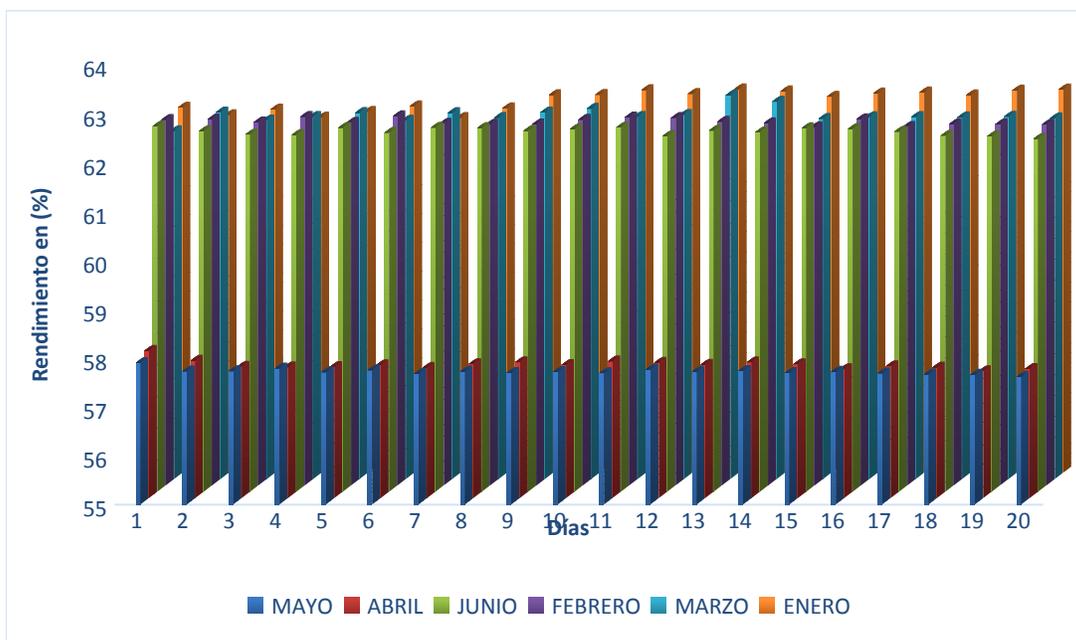


Figura 3.6 Rendimiento en harinas de maíz nixtamalizado

En la Figura 3.6 se grafica el rendimiento harinero promedio vs días de producción de harina que se trabajaron . Cada punto de la gráfica representa el promedio de rendimiento de los tres turnos que se trabajaron por día. Así mismo cada barra es representada con un color diferente para saber qué mes era el que se trabajó, tal y como se observa en la gráfica todos los meses de enero, febrero, marzo y junio se comportan de una misma manera teniendo un rendimiento promedio del 62.4%, estadísticamente con la prueba de Tukey (ver anexo 6) , Enero presenta un valor de media ligeramente mayor con un rendimiento del 62.62%; sin embargo en abril y mayo hay un disminución hasta del 57%. De acuerdo a la figura ninguna de las harinas cumplió con lo establecido por la norma La NMX-046-S-1980, aunque se acercaron a lo solicitado, que el 75 % debe pasar el tamiz 60 USA. Cada uno de los análisis granulométricos realizados se representó en grafico acumulativo (Ver gráfica 3.7) para obtener el rendimiento de cada harina de maíz nixtamalizada evaluada.

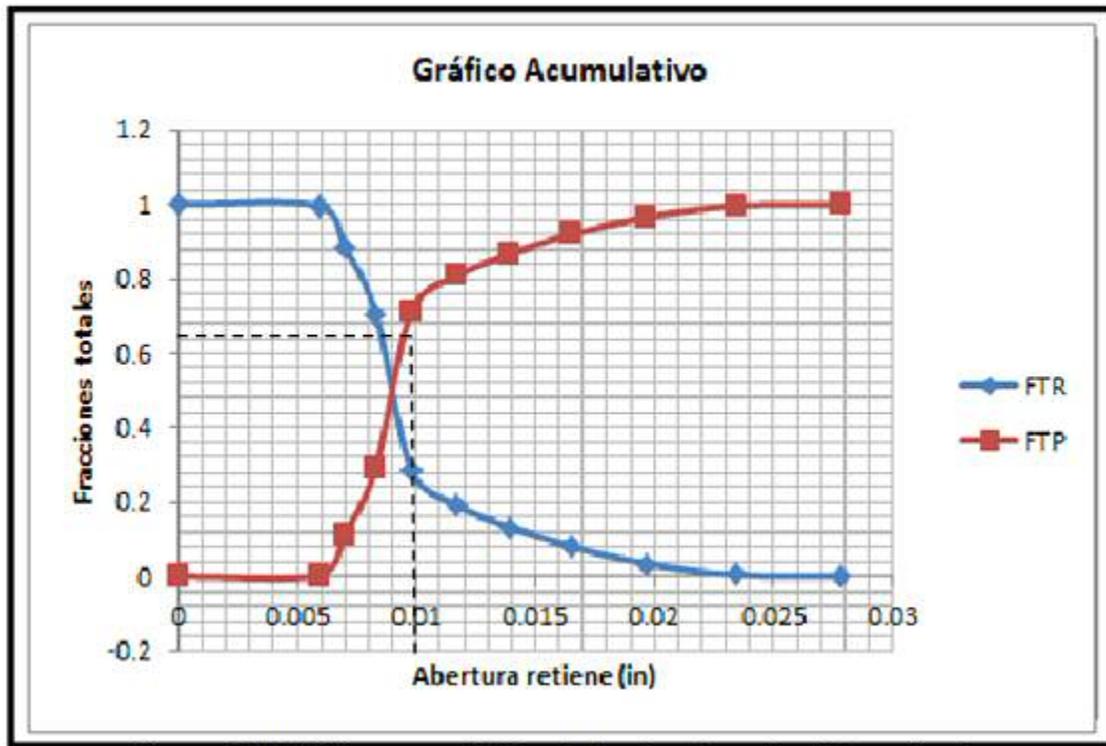


Figura 3.7 Gráfica acumulativa de harina de maíz nixtamalizado

La Figura 3.7 corresponde a día 14 del mes de marzo de una de las muestras del primer turno. Como se puede observar entrando en el eje "X" con la abertura 0.0098 in como establece la NMX-046-S-1980 la cual indica que por lo menos el 75% debe pasar por la abertura ya mencionada, por esa razón en la línea roja se intersecta para obtener en el eje de las "y" la fracción total, la cual se multiplicó por el porcentaje. Este representa el rendimiento que fue 62.4%. El mismo procedimiento se realizó por triplicado en las 360 muestras evaluadas.

En la Figura 3.8 se presenta la gráfica de efectos principales del rendimiento en harinas de maíz nixtamalizado en seis meses evaluadas.



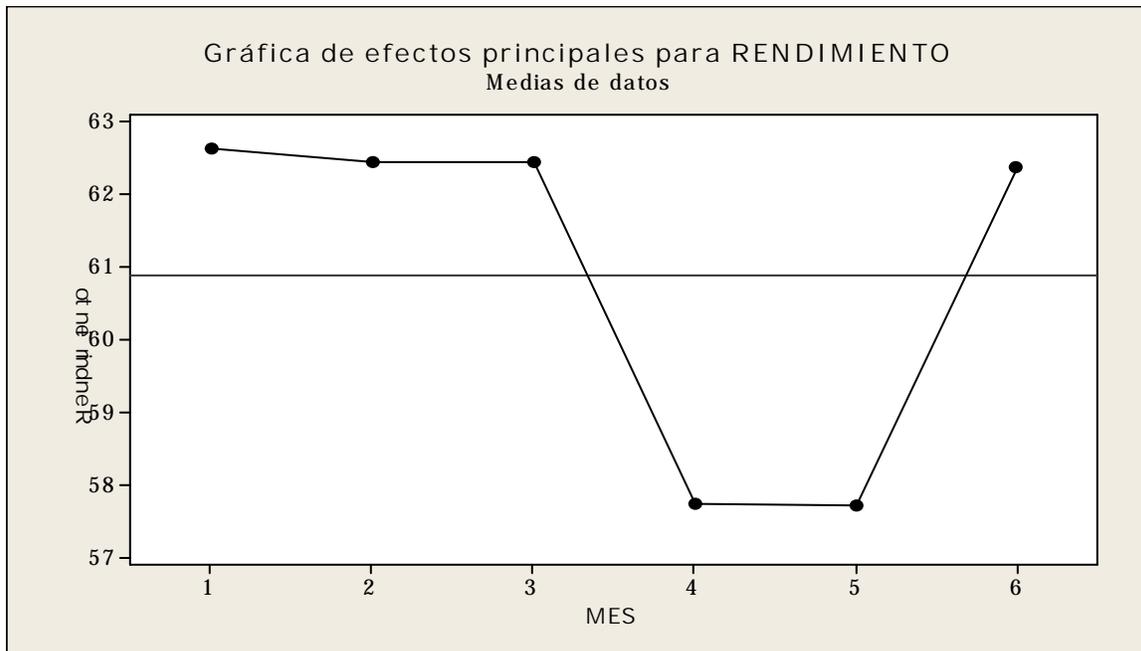


Figura 3.8 Gráfica de efectos principales para rendimiento en harinas de maíz nixtamalizado (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

El rendimiento de las harinas en los meses de abril y mayo fue mucho menor. Esto debido a que se percibe que las harinas están más húmedas, cuando se realiza la determinación, en los tamices se forman grumos por las cargas electrostáticas que provoca el movimiento y complementadas por la humedad de la muestra en correlación de lo que muestra el cuadro 3.1 (pág. 59) que las humedades en esos meses fueron más altas.

3.3 Resultados para el objetivo 3. Concentración de calcio en harinas procesadas

La concentración de calcio en harinas de maíz nixtamalizado siempre es menor que lo reportado para el proceso de nixtamalización artesanal en masa fresca de

acuerdo a lo reportado por Palacios-Fonseca *et al.* (2009) . Los resultados se presentan en la Figura 3.9.

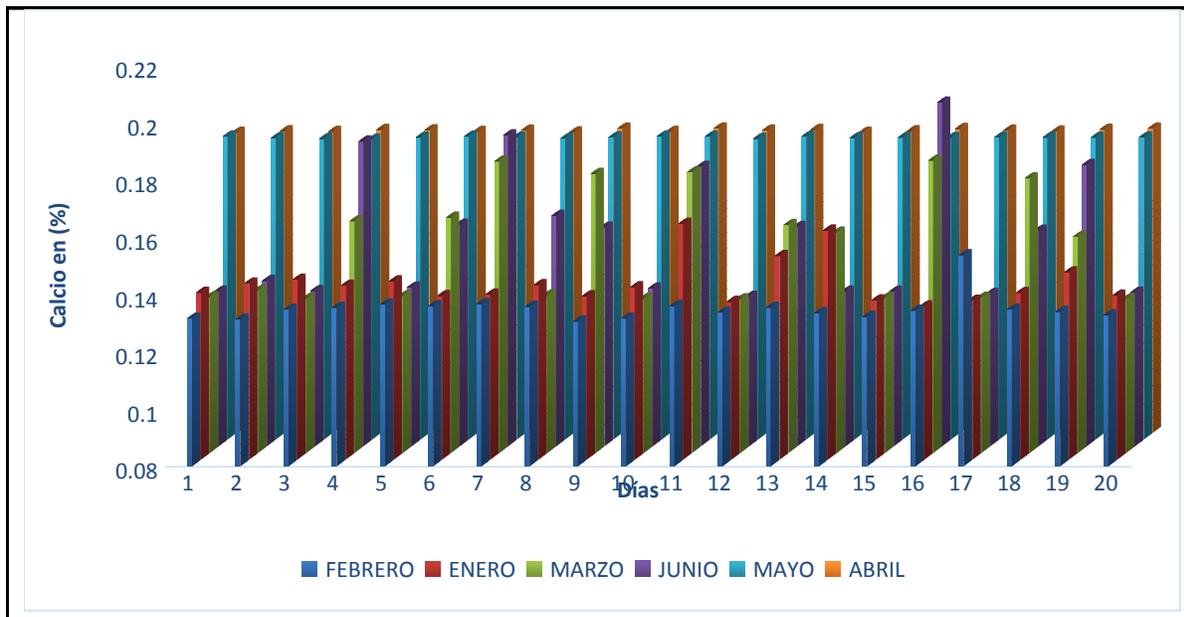


Figura 3.9 Concentración de calcio en harinas de maíz nixtamalizado

En la Figura 3.9 Cada barra de la gráfica representa el promedio de calcio de los tres turnos que se trabajaron por día. Así mismo cada barra es representada con un color diferente para saber qué mes era el que se trabajó, tal y como se observa en la gráfica todos los meses tuvieron diferente concentración de calcio, los porcentajes de calcio variaron notablemente de 0.13 % hasta 0.18 %.

En la Figura 3.10 se presentan los efectos principales para el porcentaje de calcio en harinas de maíz nixtamalizado procesadas.

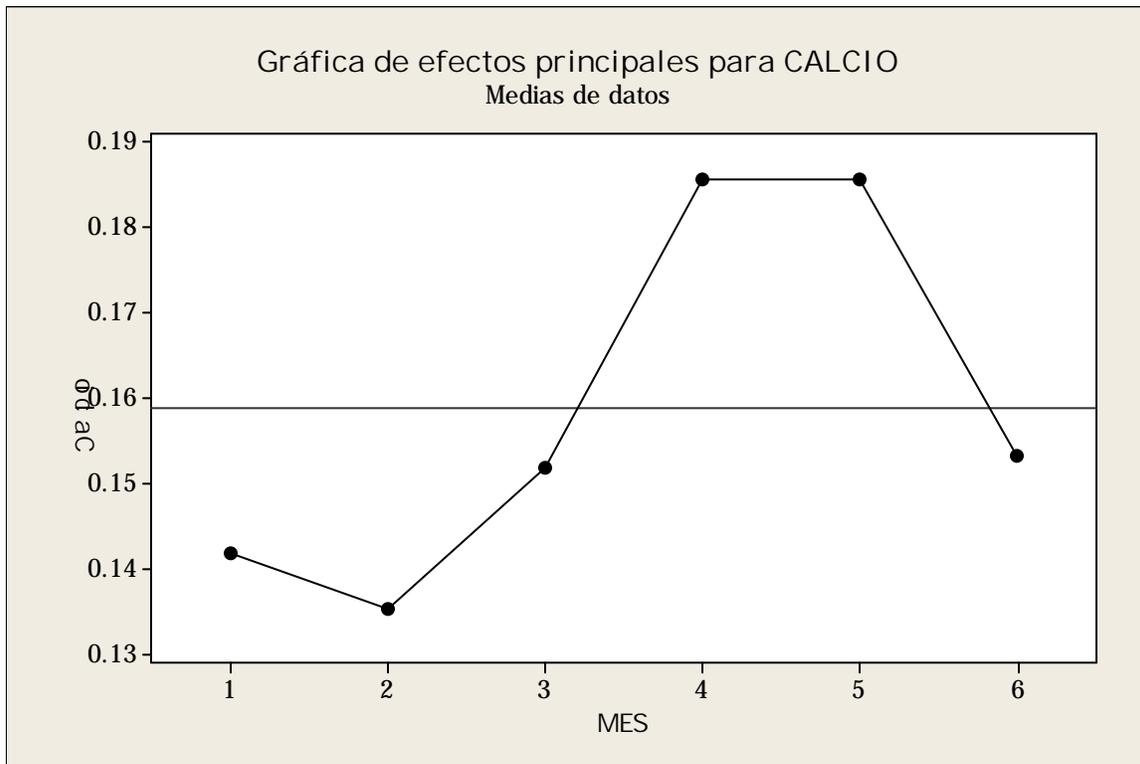


Figura 3.10 Gráfica de efectos principales de la concentración de calcio en harinas de maíz nixtamalizado (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

El análisis estadístico evidenció la variabilidad de las harinas en los diferentes meses, tal y como lo muestra la Figura 3.10 de los efectos principales de la concentración de calcio. Con respecto a la prueba de Tukey (ver anexo 7), en el mes de Febrero se presenta una media de porcentaje de calcio menor, siendo del 0.13 %, mientras que abril y mayo, mostraron los valores más altos del 0.18 %, finalmente los meses de enero, marzo y junio, no presentaron diferencia significativa.

Los factores tales como: tipo de maíz, contenido de hidróxido de calcio adicionado, tiempo de cocimiento y de reposo, así como la técnica de lavado influyen en la concentración de calcio residual de las harinas.

3.4 Resultados del objetivo 4. Pico máximo en el perfil viscoamilográfico de harinas de maíz nixtamalizado.

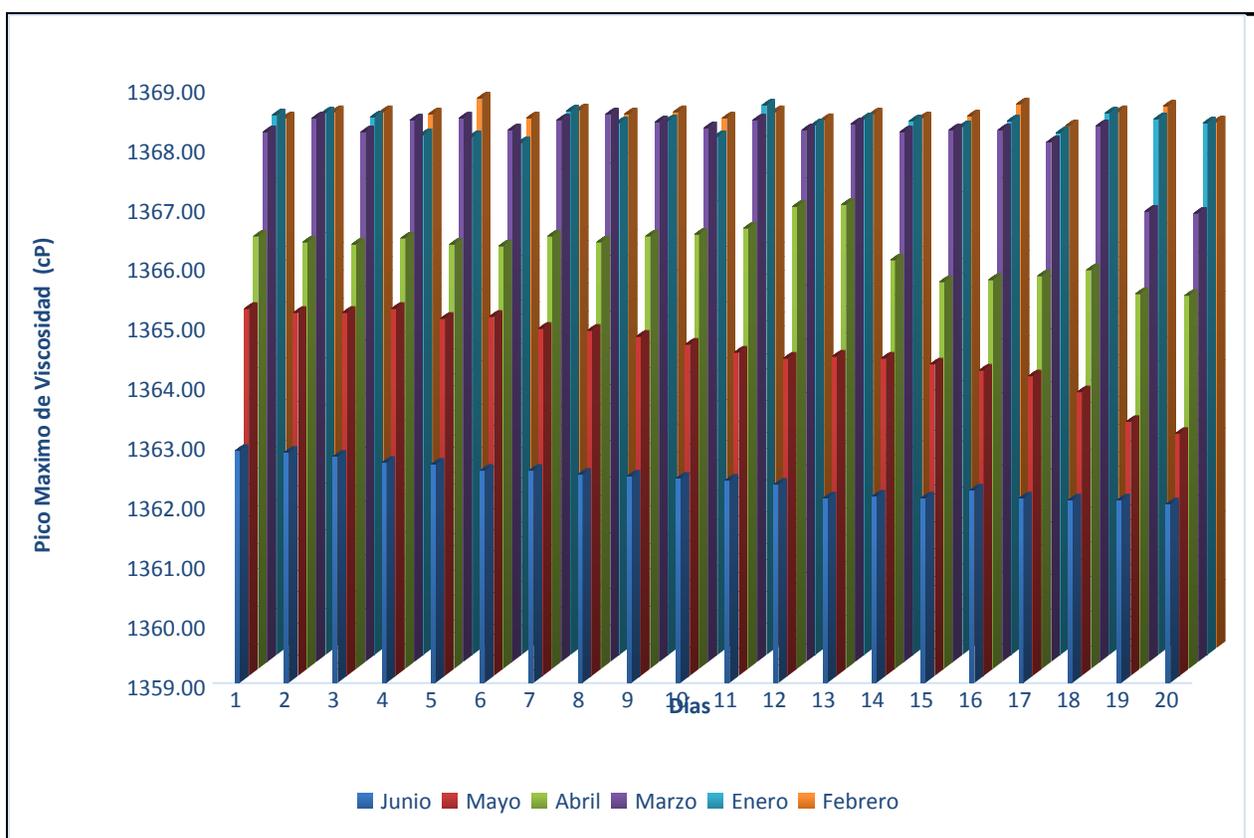


Figura 3.11 Grafica del pico máximo en el perfil viscoamilográfico obtenido en harinas de maíz nixtamalizado

En la Figura 3.11 se presenta en el eje de las “X” los días evaluados y en el eje de las “Y” el pico máximo del perfil viscoamilográfico. Cada una de las barras en la gráfica representa el promedio del pico del perfil viscoamilográfico de los tres turnos que se trabajaron por día. Así mismo cada barra es representada con un color diferente para saber qué mes era el que se trabajó, tal y como se observa en la gráfica los meses de enero, febrero y marzo tienen valores similares de pico máximo, por arriba de 1360 cP, estadísticamente en la prueba de Tukey, se encuentra que entre estos meses no existe diferencia significativa (ver anexo 8).

Sin embargo, en los meses posteriores que son abril, mayo y junio bajaron el pico máximo. El pico máximo es lo más importante del perfil, éste es indicativo de que tan gelatinizada está la harina. De acuerdo con la prueba de Tukey, (ver anexo 8) cada mes mostró una diferencia significativa entre ellos (obteniendo valores en abril de 1366.03 cP, mayo de 1364.47 cP y junio de 1362.40 cP).

En la Gráfica 3.12 se presenta los efectos principales el pico Máximo en el perfil viscoamilográfico.

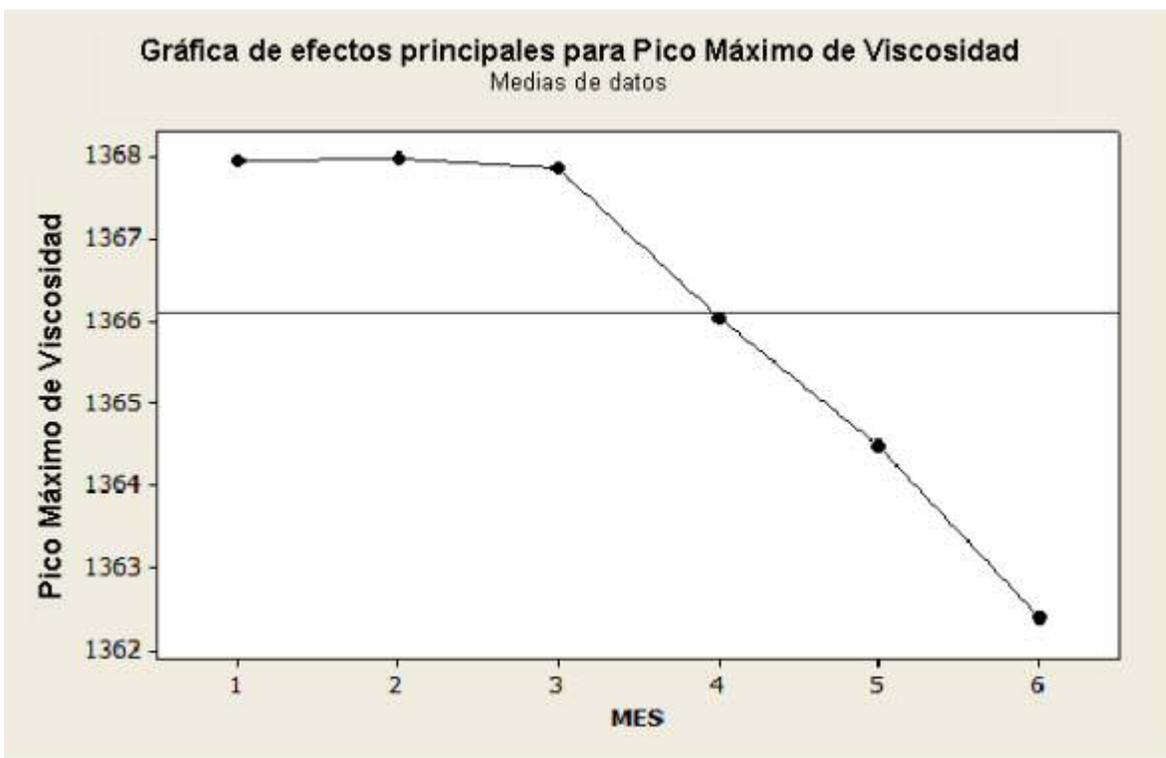


Figura 3.12 Gráfica de efectos principales para pico máximo en el perfil viscoamilográfico. (1 = Enero, 2 = Febrero, 3 = Marzo, 4 = Abril, 5 = Mayo y 6 = Junio)

En la gráfica 3.12, se observa con mayor claridad lo que se obtiene con la prueba de Tukey, concordando que entre enero, febrero y marzo, no existe diferencia significativa entre ellos y sí la hay entre abril, mayo y junio.



CONCLUSIONES

- La industria harinera produce en mayor medida productos homogéneos, sin embargo no es posible tener el control total de la materia prima, que está supracitada al cultivo y condiciones climáticas. Esto se ve reflejado en algunos parámetros evaluados del análisis químico proximal y se ven afectados principalmente por la época de lluvias. Consecuentemente, se reportan las harinas un mayor porcentaje de humedad, lo que repercute en otros parámetros como es el pH y el rendimiento.
- Adicionalmente, el industrial trata de controlar la materia prima y seleccionar granos duros y de dureza intermedia, eso tampoco es posible a cabalidad, por lo que los porcentajes de proteína, de grasa y cenizas varía. Las harinas entonces reportan diferencias significativas en la producción ya que llegan diferentes maíces a la planta y a menudo se trabaja con mezclas de granos, no hay separación de variedades.
- En meses como mayo y junio se reportaron rendimientos harineros bajos comparados con otros meses, presentando valores menores a lo solicitado por la Norma NMX-046-S-1980. El envase de la harina se humedece y por lo tanto la harina se hidrata en los meses de lluvia, debido a que la humedad relativa es más alta en el medio y por ende en pasillos y almacén temporal de la planta productiva.
- El porcentaje de calcio endógeno en los granos es diferente dependiendo de las condiciones de cultivo. Las características del grano y el espesor del pericarpio también influyen en la fijación de calcio. Por lo que se encontró que las concentraciones de calcio fueron más altas en enero y febrero y en

los meses de marzo, abril, mayo, junio disminuyó hasta la mitad de los otros meses evaluados. Esto indica que si hay variación en el procesamiento, aunado a la variabilidad de la materia prima.

- El pico máximo en el perfil viscoamilográfico reportado para una harina elaborada de manera artesanal es cercano a 2000 cP. En la empresa los picos máximos fueron alrededor de 1350, por lo que se presume que tienen harinas más gelatinizadas de lo esperado. Esto es indicativo de que falta un control en la temperatura y tiempo de cocción de los granos de maíz y durante la molienda húmeda y seca. Los picos menores de todo el semestre se encontraron durante los meses de abril, mayo y junio, por lo que también se atribuye a la mayor humedad reportada en las harinas de maíz nixtamalizado.

RECOMENDACIONES

- Para complementar los datos se requiere que se obtengan por lo menos un semestre más en las muestras de harina.
- Se recomienda acortar los tiempos en que residen las harinas en el almacén temporal porque tiene exceso de ventilación, es decir reporta humedades relativas altas.
- Se recomienda hacer harinas de manera artesanal por lo menos mensualmente para realizar un análisis comparativo con las procesadas industrialmente.

- Es recomendable revisar los puntos críticos en la planta; la cocción de los granos, la molienda húmeda y la molienda seca.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almeida-Domínguez, H. D.; Cepeda, M.; Rooney, L. W. (1996). Properties of commercial nixtamalized corn flours. *American association of cereal chemists, inc.* **41**(7): 624-630.
- Amézquita, L. F. de J. (2000). Fundamentos de espectroscopía aplicada a la instrumentación química. Ed. UAG. P p.13, 123-140.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*. 17th Ed. Official methods 960.52 and 960.93 Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*. 17th Ed. Official methods 02-52, Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg.
- Báez-Ramírez, O. A. y Martínez-Borrego, A. (1990). Estudio de la influencia de las condiciones de proceso sobre la calidad de harina de maíz nixtamalizado para tortillas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. Pp. 27.43.
- CIMMYT 2009, Ian T, R
- Bedolla, S. y Rooney L. W., (1984). Characteristics of U.S. and Mexican Instant Maize Flours for Tortilla and Snack Preparation. *Cereal Foods World*, **33**:8-69.
- Bello-Pérez, L. A.; Osorio, D. P.; Agama-Acevedo, E.; Núñez-Santiago, C.; Paredes-López, O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, **36** (3): 319-328.
- Bressani, R.; Turcios, J. C.; Reyes, L.; Mérida, R. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **51**(3):309-313.
- D' Appolonia, B. L. (1995). Effect bread ingredient on starch

in bread gelatinization properties as measurement by the amylograph. *Cereal Chemistry*, **49** (5):532-543.

- Del Valle, F. R. y Pérez-Villaseñor, J. (1974). Enrichment of tortillas with soy protein by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures. *Journal Food Science*, **39**: 244-247.
- Dengate, H. N. (1984). *Advances in Cereal Science and Technology*. (6th ed.). Christchurch: New Zeland, (Chapter 2). pp 114-121.
- Fernández-Muñoz J. L, Rodríguez, M. E., Pless, R. C., Martínez-Flores, H. E., Leal, M., Martínez, J. L., Baños, L. (2002). Changes in nixtamalized corn flours dependent postcooking Steeping time. *Cereal Chemistry*, **79**(1): 162-166.
- Flores-Farias, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., Ríos, E. (2002). Characterization of commercial nixtamalized maize flours. *Agrociencia*, **36**: 557-567.
- Gómez, M. H., Rooney, L. W., Waniska, R. D., Plugfelder, R. L. (1987). Dry corn flour for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World*, **32**:372.
- Gomez-Aldapa, C.A., Martínez-Bustos, F. Figueroa-Cárdenas, J.D., Ordorica-Falomir, C.A., González-Hernández, J. (1996). Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaboradas con harinas instantáneas obtenidas por extrusión continua. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **46**: 315-316.
- Jan, R., Seema., Saxena, D. C., Singh, Sukhcharn. (2013). Pasting and thermal properties of starch extracted from Chenopodium Album Grain. *Agriculture and Food Science Technology*, **4**(10), 981-988.
- Jin-song, B. (2008). Accurate measurement of pasting temperature by the rapid viscoanalyzer a case study using rice flour. *Rice Science*, **15**(1), 69-72.
- Karim, A. A ., Toon, L. C ., Lee, V. P ., Ong, W. Y., Fazilah, A ., Noda, T . (2007). Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. *Food Science*. **72** (2), 132-138.
- Martínez-Herrera y Lachance (1979). Corn (*Zea Mays*) Kernel hardness as

an index of the alkaline cooking time for tortilla preparations *Journal Food science*, **44**. 232-237.

- McCabe, W.L., Smith, J. L. and Harriot, P. (1985). Unit operations in *Chemical Engineering*. Ed. McGraw-Hill. New York. pp 32-37.
- Montgomery Douglas C. Diseño y análisis de experimentos, 2da edición Ed. Limusa Wiley (2004). pp 231-246.
- NMX-F-046-S-1980. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Secretaria de fomento Industrial. Dirección de Normas.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2003 Productos alimenticios no industrializados para uso humano-cereales-maíz amarillo para elaboración de almidones y derivados-especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-147-SSA1-1996 Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA-1-1996. Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, Harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2000 Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
- Palacios-Fonseca, A. J.; Vázquez-Ramos, C.; Rodríguez-García, M. E. (2009). Physicochemical Characterizing of industrial and traditional nixtamalized corn flours. *Journal of food Engineering*. **93**, 45-51.
- Paredes-López, O.y Saharopulos-Paredes, M. E. 1983. Maize- A review of tortilla production technology. *Bakers Digest*, **57**: 16-25.
- Ramírez y Vega, 2008 Análisis de la cadena de valor Maíz, Tortillas; Situación actual y factores de competencia local Secretaria de Economía
- Rosabal, V, J. M y Garcell, P.L. (1998) Hidronímica y Seperaciones Mecánicas. Tomo II Instituto Politécnico Nacional. P. p. 53-62.

- Rodríguez-García, M.E., Serna-Saldívar, S. O., Sánchez Sinencio, F. (2008). Nixtamalización del maíz a la tortilla. Aspectos nutrimentales y toxicológicos en serie: ingeniería. Ed: Universidad Autónoma de Querétaro, México. pp.17-25.
- Rogers, J. (2010). RVA Super 4, installation and operation manual. Newport scientific. 57-59.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Rojas, A., Cortés-Álvarez, M., Campos-Solís, L., Hernández-Urbiola, M., Arjona, J. L., Cornejo, A. Rodríguez M. E. (2009). Effect of temperature and steeping time on calcium and phosphorus content in nixtamalized corn flours obtained by traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry*. **86** (5) : 516-521.
- Rooney, L. W., y Serna- Saldívar, S. O. 1987. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. In: Corn: Chemistry and Technology. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. Am. Assoc. Cereal Chemistry St. Paul, MN.
- Sahai, D.; Buendia, M. O., Jackson, D. S. (2001) Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour: Particle size and functionality relationships in flour sample. *Cereal Chemistry*, **78** (1):14-18.
- *SE-DGIB con base en información del INEGI (2010)*
- Serna-Saldívar, S. O., Gómez, M. H., Almeida-Domínguez, H. D., Islas-Rubio, A., Rooney, L. W. (1993.) A method to evaluate the lime-cooking properties of corn (*zea mays*). *Cereal Chemistry*, **70**:603-610.
- Skoog, A. D. y Learly, J. J. (1995). Análisis Instrumental. Ed. Mc Graw-Hill. México, D.F. p. 227-295.
- Singh, M. ; Tiwari, D. P. ; Kumar, A. ; Kumar, R., 2003. Effect of feeding transgenic cottonseed vis-à-vis non-transgenic cottonseed on haematobiochemical constituents in lactating Murrah buffaloes. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 16 (12): 1732-1737
- Tang MC and Copeland L 2007. Investigation of starch retrogradation using atomic force microscopy. *Carbohydrate Polymers* 70: 1-7

- Vandeputte, G. E., Derycke, V., Geeroms, J., Delcour, J. A. (2003). Rice starches II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, **38**, 53-59.
- Zeki-Berk (2009) Food Process Engineering and Technology. Centrifugation. New York. Pp. 153-166

ANEXO 1

HUMEDAD

ANOVA unidireccional: ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	16.7235	3.3447	314.34	0.000
Error	114	1.2130	0.0106		
Total	119	17.9365			

S = 0.1032 R-cuad. = 93.24% R-cuad.(ajustado) = 92.94%

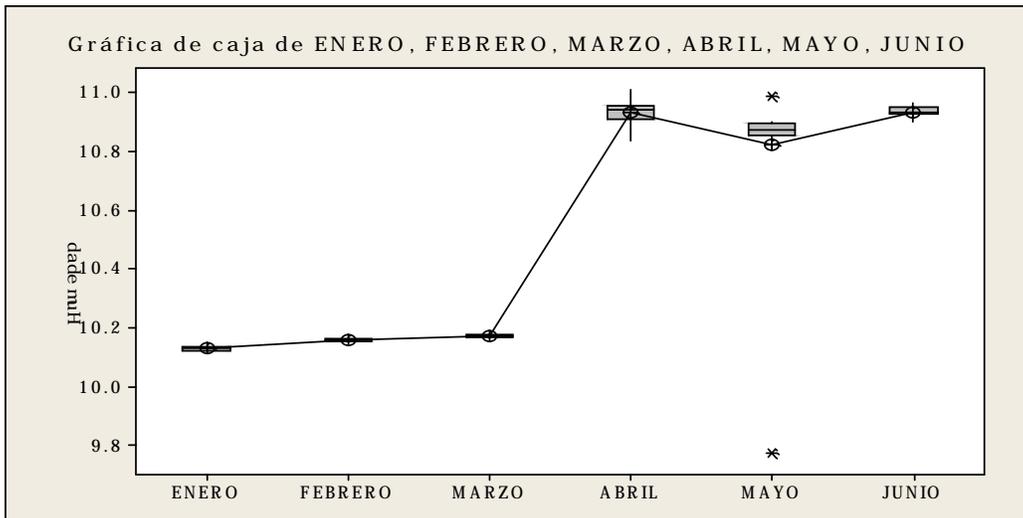
Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
ENERO	20	10.131	0.009	(-*-)
FEBRERO	20	10.159	0.007	(*-)
MARZO	20	10.172	0.005	(-*-)
ABRIL	20	10.934	0.039	(*-)
MAYO	20	10.822	0.249	(-*-)
JUNIO	20	10.933	0.017	(*-)

Desv.Est. agrupada = 0.103

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
ABRIL	20	10.9338	A
JUNIO	20	10.9334	A
MAYO	20	10.8219	B
MARZO	20	10.1721	C
FEBRERO	20	10.1589	C
ENERO	20	10.1307	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas
Nivel de confianza individual = 99.55%



ANEXO 2

GRASA

ANOVA unidireccional: ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	0.00877	0.00175	0.83	0.533
Error	114	0.24178	0.00212		
Total	119	0.25055			

S = 0.04605 R-cuad. = 3.50% R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
ENERO	20	4.6850	0.0484	(-----*-----)
FEBRERO	20	4.6633	0.0480	(-----*-----)
MARZO	20	4.6622	0.0400	(-----*-----)
ABRIL	20	4.6617	0.0529	(-----*-----)
MAYO	20	4.6617	0.0429	(-----*-----)
JUNIO	20	4.6617	0.0429	(-----*-----)

Desv.Est. agrupada = 0.0461

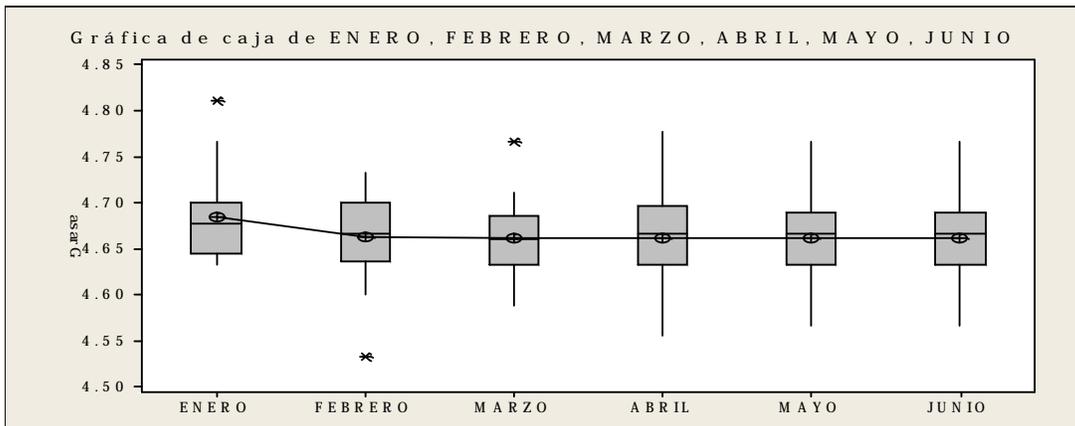
Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
ENERO	20	4.68500	A
FEBRERO	20	4.66333	A
MARZO	20	4.66222	A
JUNIO	20	4.66167	A
MAYO	20	4.66167	A
ABRIL	20	4.66167	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99.55%



ANEXO 4

Porcentaje de nitrógeno proteico

ANOVA unidireccional: ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	0.000272	0.000054	0.39	0.856
Error	114	0.015921	0.000140		
Total	119	0.016193			

S = 0.01182 R-cuad. = 1.68% R-cuad.(ajustado) = 0.00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95%
ENERO	20	8.6294	0.0080	(-----*-----)
FEBRERO	20	8.6333	0.0115	(-----*-----)
MARZO	20	8.6308	0.0128	(-----*-----)
ABRIL	20	8.6308	0.0122	(-----*-----)
MAYO	20	8.6307	0.0145	(-----*-----)
JUNIO	20	8.6284	0.0109	(-----*-----)

Desv.Est. agrupada = 0.0118

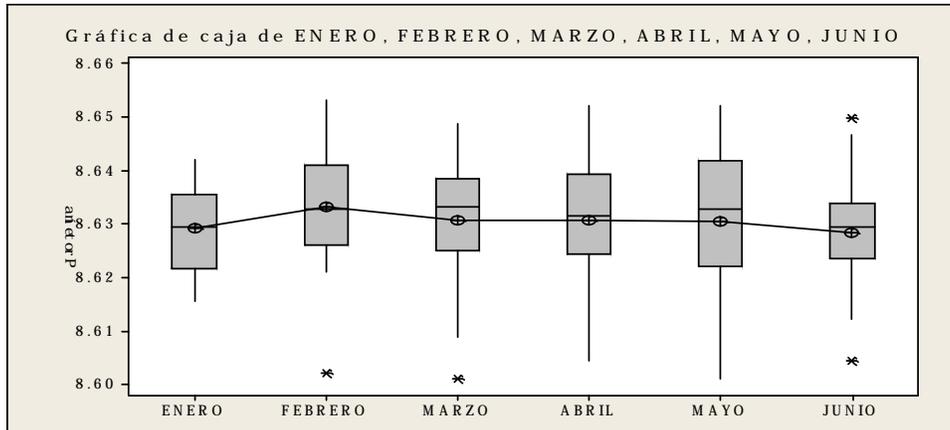
Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
FEBRERO	20	8.63328	A
MARZO	20	8.63078	A
ABRIL	20	8.63078	A
MAYO	20	8.63067	A
ENERO	20	8.62939	A
JUNIO	20	8.62839	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99.55%



ANEXO 5

pH

ANOVA unidireccional: ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	1.918338	0.383668	467.85	0.000
Error	114	0.093488	0.000820		
Total	119	2.011826			

S = 0.02864 R-cuad. = 95.35% R-cuad.(ajustado) = 95.15%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	IC Inferior	IC Superior
ENERO	20	7.1117	0.0248	7.0621	7.1613
FEBRERO	20	7.1311	0.0283	7.0745	7.1877
MARZO	20	7.1017	0.0208	7.0601	7.1433
ABRIL	20	7.0911	0.0271	7.0369	7.1453
MAYO	20	6.8378	0.0402	6.7574	6.9182
JUNIO	20	6.8461	0.0268	6.8193	6.8729

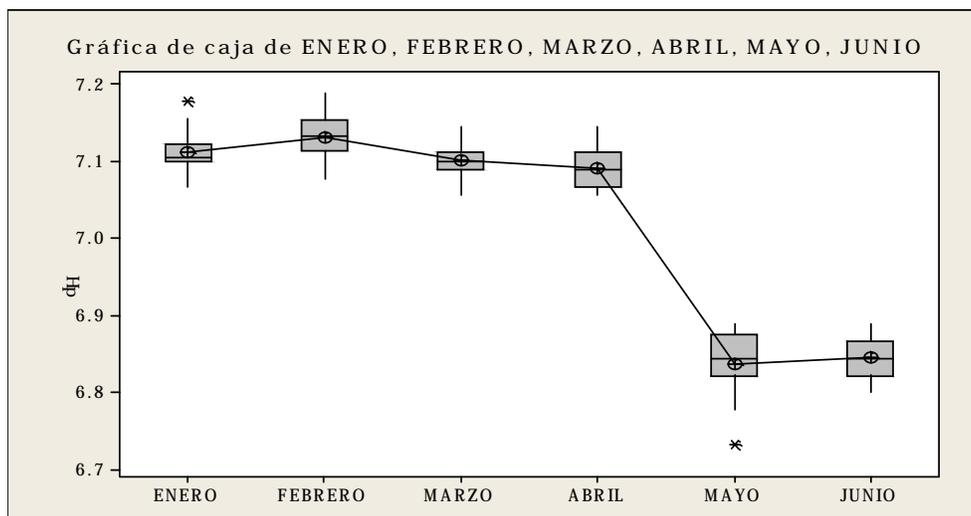
Desv.Est. agrupada = 0.0286

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
FEBRERO	20	7.13111	A
ENERO	20	7.11167	A B
MARZO	20	7.10167	B
ABRIL	20	7.09111	B
JUNIO	20	6.84611	C
MAYO	20	6.83778	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99.55%



ANEXO 7

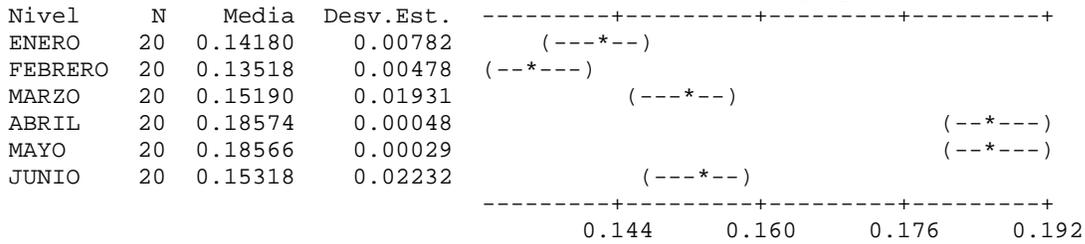
CALCIO

ANOVA unidireccional: ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	0.047458	0.009492	59.60	0.000
Error	114	0.018155	0.000159		
Total	119	0.065613			

S = 0.01262 R-cuad. = 72.33% R-cuad.(ajustado) = 71.12%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada



Desv.Est. agrupada = 0.01262

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
ABRIL	20	0.18574	A
MAYO	20	0.18566	A
JUNIO	20	0.15318	B
MARZO	20	0.15190	B
ENERO	20	0.14180	B C
FEBRERO	20	0.13518	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas
Nivel de confianza individual = 99.55%

